

УНИВЕРЗИТЕТ “ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” - ШТИП
ТЕХНОЛОШКО-ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Д-р. Димко Димески
Д-р. Винета Сребренкоска

МЕХАНИЧКИ СВОЈСТВА НА ТЕКСТИЛНИ МАТЕРИЈАЛИ



Штип, 2014

Димко Димески; Винета Сребренкоска

МЕХАНИЧКИ СВОЈСТВА НА ТЕКСТИЛНИ МАТЕРИЈАЛИ

Штип, 2014

Автори:

Проф. д-р Димко Димески, вонреден професор
Проф. д-р Винета Сребренкоска, вонреден професор

МЕХАНИЧКИ СВОЈСТВА НА ТЕКСТИЛНИ МАТЕРИЈАЛИ

Рецензенти:

Др. Горан Дембоски, редовен професор, Технолошко – металуршки факултет, УКИМ - Скопје
Др. Светлана Ристеска, вонреден професор, Институт за современи композити и роботика,
Прилеп

Лектор:

Милчо Јованоски

Техничко уредување:

Димко Димески, Винета Сребренкоска

Издавач:

Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип

CIP - Каталогизација во публикација
Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

677.017(075.8)

ДИМЕСКИ, Димко

Механички својства на текстилни материјали [Електронски извор] /
Димко Димески, Винета Сребренкоска. - Текст, табели, граф. прикази. -
Штип : Универзитет "Гоце Делчев", Технолошко-технички факултет, 2014

Начин на пристап (URL): <http://e-lib.ugd.edu.mk/naslovna.php>. -
Наслов преземен од екранот. - Опис на изворот на ден 14.10.2014

ISBN 978-608-244-105-4

1. Сребренкоска, Винета [автор]

а) Текстилни материјали - Механички својства - Високошколски
учебници

COBISS.MK-ID 97226506

УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ – ШТИП

ТЕХНОЛОШКО ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ



Проф. д-р Димко Димески
Проф. д-р Винета Сребренкоска

МЕХАНИЧКИ СВОЈСТВА НА ТЕКСТИЛНИ МАТЕРИЈАЛИ

Штип, 2014

ПРЕДГОВОР

Со илјадници години користењето на влакна било лимитирано само на она што го дава природата. Но, нешто повеќе од пред еден век, конечно развиено е првото вештачко влакно – рајонот (вискоза). Сепак, обиди да се направи вештачка свила имало многу поодамна. Уште во 1664 година англискиот натуралист Robert Hooke ја изнел идејата да се развие влакно какво што е свиленото, но неговата идеја останала нереализирана повеќе од два века. Првиот патент за “вештачка свила” бил одобрен во Англија во 1855 година на швајцарскиот хемичар Audemars. Тој растворил влакнеста срцевина од дрво, хемиски модифицирајќи ја, за да добие целулоза. Формирал влакна на тој начин што во растворот потопувал игли кои ги извлекувал за да формира влакна – но никогаш не дошол на идеа да направи влакно на тој начин што ќе ја компримира масата да помине низ мал отвор, она што денес го нарекуваме екструзија. На таква идеа дошол англичаниецот Joseph Swan, кој во 1885 година во Лондон презентирал ткаенина направена од новото влакно.

Првото комерцијално производство на вештачки влакна го остварил францускиот хемичар Hilarie de Chardonnet. Во 1889 година неговата ткаенина од “вештачка свила” предизвикала сензација на изложбата во Париз. Две години покасно тој го изградил првиот комерцијален погон за рајон.

Во 1893 година бил пронајден уште еден целулозен продукт – ацетатот, кој во 1924 година бил произведен во вид на влакно од страна на компанијата Celanese.

Целосна независност од природната целулоза била постигната со развојот на синтетичките влакна. Од нивниот почетен развој, синтетичките влакна стануваат конкурент, а во некои апликации дури ги заменуваат природните влакна. Полиестерските се денес најшироко користените влакна како за текстилни ткаенини така и, во мал дел, за технички апликации. Овие влакна прво се произведени во 1947 г. Но, првото вистинско синтетско влакно е полиамидното или најлон, чија комерцијална продукција почнува во 1938 г. Последниве 50-тина години современите синтетички влакна се развија во технички филаменти со особини кои се креирани преку контрола на нивната молекулска структура. Најсовремените влакна поседуваат особини, особено крутост во комбинација со мала густина, кои се на горната граница што природата и физиката ги дозволуваат. Тоа овозможува техничките структури базирани на влакна да бидат креирани со извонредни особини што претставува база за нови технички иновации. Природните влакна пак, од своја страна, имаат квалитети кои што синтетичките не можат да ги заменат особено комфорот, мекоста, допирот, но исто така тие се обновливи и евтин извор на структурни зајакнувачи, со што наоѓаат и нови апликации покрај традиционалните текстилни апликации.

По развојот на полиамидот 66 (1935 г) следи период на рапиден развој и на други синтетички влакна, полиамид 6 („перлон, 1938), полиестер (1941), полиакрилонитрил (1942), еластон (1958), итн.

Денес на пазарот веќе постои нова генерација на високоперформансни влакна кои се одликуваат со високи и јакост и модул и кои се пред се наменети за технички апликации. Некои од овие влакна се дури и во втора или трета генерација од својот развој.

Влакната претставуваат значајна форма на материјал и често пати поседуваат особини кои се супериорни во однос на истиот материјал во невлакнеста форма. Финоста (од редот на 10 микрони) им овозможува голема флексибилност. Формата на влакната, со должина од неколку десетици реда на величини поголема во однос на дебелината, ја детерминира нивната преферентна апликација за оптоварување на затегање во аксијален правец. И токму во таквите апликации доаѓа до полн израз бенефитот од користењето на влакната било како текстилни материјали, било како технички.

Затоа, во овој учебник, кога зборуваме за механички карактеристики на текстилни материјали, пред се, мислиме на нивната јакост, модул и издолжување при затегање. Извонредните карактеристики, текстилните и техничките влакна ги должат на својата структурна градба. Од тука, логично следи, за да се објаснат својствата на влакната потребно е да се познава нивната структура. Токму затоа, првата глава од овој учебник е посветена на структурата на влакната; во втората глава се дефинирани сите релевантни механички карактеристики за текстилните материјали и начинот на нивно тестирање; во третата глава се презентирани механичките карактеристики на најзастапените текстилни и технички влакна како и нивните компаративни разлика и во последната, четврта глава, се дефинирани факторите кои влијаат врз механичките карактеристики на влакната и какво е нивното влијание врз поединечните влакна.

Авторите

Април, 2014

Содржина

	Вовед	6
1	Што е влакно	7
2	Класификација на влакната	8
	Глава 1. Современа структура на текстилни влакна	13
3	Структура на текстилните влакна	13
3.1	Вовед	13
3.2	Методи за карактеризација и истражување на структурата	16
3.3	Пристап кон полимерната структура	26
4	Генерално гледиште за структурата на влакната	35
5	Структура и перформанси	40
5.1	Перформансни барања за традиционална употреба	40
5.2	Перформансни барања за нова употреба	41
6	Флексибилност на влакната	41
7	Попречен пресек и финост на влакната	47
7.1	Попречен пресек на влакната	47
7.2	Финост на влакната	49
	Глава 2. Дефиниција на механичките карактеристики	53
8	Вовед	53
9	Фактори кои влијаат врз резултатите од затегање	54
9.1	Материјали и нивни состојби	54
9.2	Распоред и димензии на примерокот	54
10	Презентирање на резултатите	55
10.1	Криви сила-издолжување и напрегање-деформација	55
10.2	Јакост	61
10.3	Издолжување при прекин	62
10.4	Работа при прекин	62
10.5	Споредба на методите за специфицирање на прекилот	64
10.6	Почетен модул и други модули	65
10.7	Фактор на работа	67
10.8	Точка на попуштање	68
10.9	Брановидност	71
10.10	Временска зависност	71
10.11	Еластичен повраток	73
11	Експериментални методи	76
11.1	Општо	76
11.2	Универзални тест машини	78
11.3	Примероци за тестирање ткаенини	80
11.4	Морфологија на површината на прекилот	81
12	Триење	84

12.1	Вовед	84
12.2	Спирална фрикција	86
12.3	Мерење на триењето кај предиво	87
12.4	Триење кај ткаенини	90
12.5	Типични вредности за μ	92
13	Цепење на ткаенини	93
13.1	Мерење на јакоста на лепење	93
13.2	Елмендорф тест	96
14	Јакост на распрснување	99
14.1	Тест на распрснување со дијафрагма	100
14.2	Тест на распрснување со сфера	101
15	Јакост на шевот	103
16	Абразивна отпорност	107
16.1	Фактори што влијаат врз абразивната отпорност	108
16.2	Тестови за абразија	109
17	Отпорност на свиткување	115
18	Смолкнување на ткаенини	119
19	Торзиони особини на влакна	123
	Глава 3. Механички карактеристики на влакна	127
20	Типични особини на влакната	127
21	Памучни влакна	130
22	Други целулозни влакна	139
23	Волна	142
24	Други протеински влакна	149
25	Најлон влакна	151
26	Полиестерски влакна	155
27	Полипропиленски влакна	159
28	Полиакрилонитрилни влакна	161
29	Високоперформансни влакна	164
30	Арамидни влакна	169
31	Високоперформансни полиетиленски влакна	178
32	Еластомерни влакна	188
33	Јаглородни влакна	189
34	Стаклени влакна	200
35	Керамички влакна	213
	Глава 4. Фактори што влијаат врз резултатите од тестот	226
36	Варијабилност и временска зависност	226
37	Влијание на влагата	226
38	Влијание на температурата	228
39	Влијание на светлината	233
40	Влијание на хемизмот од околината	235
41	Ефект на варијабилноста	237

ВОВЕД

Пред десетина века човекот ги пронашол влакната како растат на дивите растенија, ги усукал во струкови и правел јажиња и мрежи. За облека, користел влакна од крзната на животните кои му давале топлина. Предењето и ткаењето се развиени во предисториски времиња. Растенијата и животните биле одгледувани покрај за храна и за добивање на влакна. Во времето на старите цивилизации, многу видови на природни влакна биле произведувани во различни делови од светот и околу 1500 година тие станале дел од глобалната размена т.е. трговија. Се до 1890 година само природните влакна се користеле во текстилната индустрија. Напредокот во хемијата довел до откривање на начини за растворање на природна целулоза, екструдирање на растворот и формирање на вештачки влакна кои се појавуваат на комерцијалниот пазар во 1890-тите години. Четириесет години покасно синтетичките полимерни влакна се произведени. Прво полимерно регенерирано влакно кое имало континуирано, високо-волуменско производство било вискозниот рајон за чие производство фирмата Courtaulds од Англија направила погон во 1905 година. Најлонот е првото синтетичко полимерно влакно кое имало вистински комерцијален успех. Првата фабрика за негово производство ја гради фирмата DuPont во 1939 година во САД. Пелистерското, кое е сега најмногу произведуваното синтетичко влакно, следи по 10 години. Втората генерација на високоперформансни синтетички полимерни влакна се појави во последната четвртина од минатиот век.

Најголема употреба на влакната е за изработка на флексибилни ткаенини, кај кои освен малата количина на финиш, влакната се единствената граѓбена компонента. Просторот меѓу влакната игра многу важна улога во перформансите на ткаенините. Индустријата за кои влакната се суровина ја нарекуваме текстилната индустрија. Иако често се смета за поединечна, текстилната индустрија е разновидна во своите производни методи и произведува разновидна палета на производи од било која друга индустрија. Конзумните производи се најпознати и опфаќаат од висока мода до евтина облека; од крпи за бришење до висококвалитетни теписи. Техничката апликација на текстилот, која датира со векови наназад и со постојано растечки пазар се до денес, ја поврзува текстилната индустрија со многу други индустрии. На пример, автомобилската индустрија е голем корисник на текстил, нафтената индустрија за морска експлоатација на нафта користи полиестерски јажиња за прицврстување на платформите со јакост од 1000 тони и повеќе.

Влакната исто така се користат и во индустријата на композитни материјали. Ткаените се премачкуваат за да дадат непропустлива површина, а самите се порозни. Голема примена влакната наоѓаат како зајакнувачи за матрицата кај крутите композити. За производство на флексибилни композити со еластомерна

матрица, кои на пример се користат за производство на автомобилски гуми, памукот е првото влакно што било употребено но покасно е заменето со рајон, најлон, стаклени влакна, јаглородни влакна, високоперформансни полимерни влакна и керамички влакна. Заради заштита на околината постои огромен интерес за користење на крути растителни влакна како што се ленените и конопните, кои се од обновливи извори. Другите растителни влакна како што се јутата и сисал се одгледуваат во земјите во развој но постојано го губат пазарот затоа што често пати дури и со користење на евтини влакна секогаш не се постигнува поволен однос цена/перформанси.

Иако нема целосно веродостојна глобална статистика моменталната потрошувачка (или капацитет, во илјади тони) за некои влакна презентирани во овој курс е приближно: памучни, 20000; полиестерски, 20000; најлонски, 5000; олефински, 5000; други растителни влакна, 5000; регенерирани целулозни, 2500; стаклени, 2500; волна, 1000; други синтетички полимерни влакна, 400; свила, 100; јаглородни, 15; камена волна, 100 и мала количина на други керамички влакна.

§1. ШТО Е ВЛАКНО?

Поимот „влакно“ значи единица (мерка) за материја, кое може да биде природно или синтетичко, и претставува фундаментален граѓбен елемент во предивата, ткаенини и другите текстилни структури. Влакното се карактеризира со должина која е најмалку 100 пати поголема од неговиот дијаметар или ширина. Оваа дефиниција се однесува на влакна кои можат да се испредат во предиво или да се процесираат во ткаенина со различни методи вклучувајќи ткаење, плетење, усукување, вмрежување и филцување. Основните барања за влакното да се впреди во предиво вклучуваат: должина од најмалку 5 mm, флексибилност, кохезивност и доволна јакост. Другите важни особини вклучуваат: еластичност, финост, униформност, трајност и сјајност.

Влакното е најмалата видлива единка во текстилното инженерство. Поимот „текстил“ доаѓа од латинскиот збор „textere“ што значи исткаен, но денес поимот текстил е погенерализиран и се однесува на сите производи направени од текстилни влакна.

Генерално, текстилното влакно претставува полимерно соединение добиено по природен или индустриски пат. Составено е од повеќе макромолекули кои во влакното се поставени во некаков ред или делумен ред, меѓусебно поврзани со меѓумолекуларни врски. Помеѓу секоја средена област (сноп од макромолекули паралелно подредени) има област на слобода и неред во ориентацијата на молекулите. Кај влакната карактеристично е што постои специфичен распоред на молекулите, а тоа им дава истовремено комбинација од јакост и еластичност.

§2. КЛАСИФИКАЦИЈА НА ВЛАКНАТА

Постојат многу класификации на текстилните и техничките влакна кои помалку или повеќе се разликуваат една од друга. Генерално, според критериумот кој ќе го одбереме влакната можеме да ги класифицираме според:

- 1. Потеклото**
- 2. Хемиската структура**

Влакната, исто така можат да се класифицираат и според други критериуми како што се: должината, финоста, процесот по кој се добиваат или друг критериуми.

2.1. КЛАСИФИКАЦИЈА СПОРЕД ПОТЕКЛОТО

Според потеклото влакната можеме да ги класифицираме како:

- 1. Природни**
- 2. Произведени**

Природните влакна понатаму се класифицираат во три групи на:

- 1. Растителни**
- 2. Животински**
- 3. Минерални**

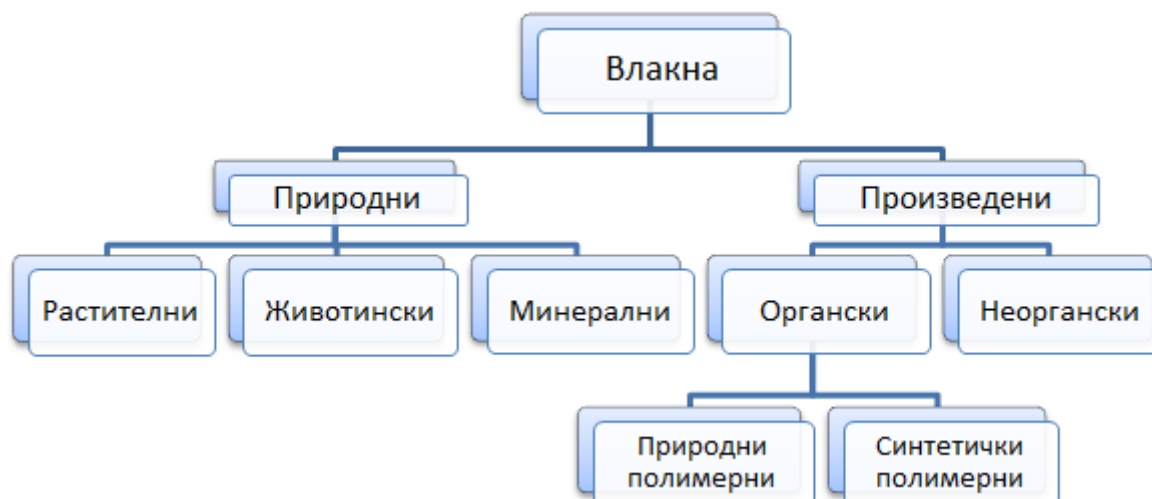
Произведените (синтетички) влакна се класифицираат во две големи групи на:

- 1. Органски**
- 2. Неоргански**

Од своја страна органските влакна ги делиме на оние од:

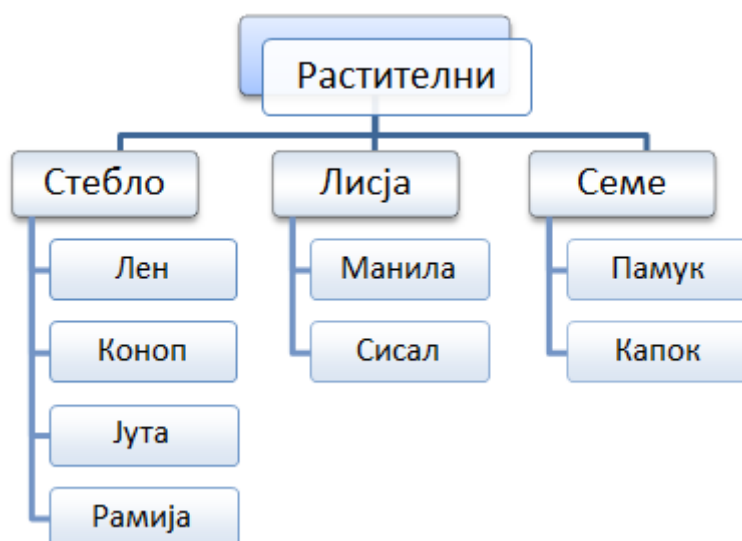
- 1. Природни полимери**
- 2. Синтетички полимери**

како што е презентирано на сликата 2.1.



Слика 2.1. Класификација на текстилните влакна според потеклото

Растителните влакна се врз база на целулоза и се наоѓаат во различни делови од растенијата, како што се: стеблото (лен, коноп, јута, рамија, кенаф), лисјата (манила, сисал), семето (памук, капок), како што е презентирано на сликата 2.2.



Слика 2.2. Растителни влакна од различни делови на растенијата

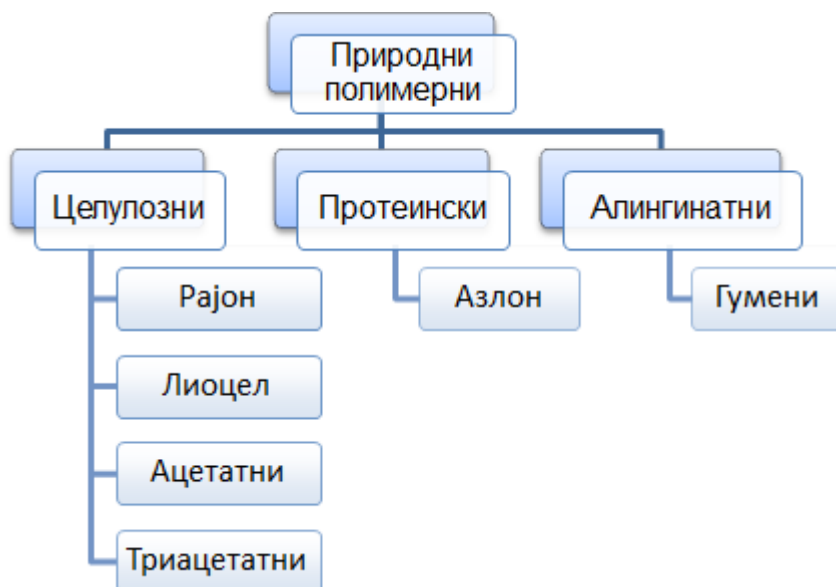
Животинските (протеински) влакна според генералната класификација се делат на влакна од коса (алпака, камила, кашмир, мохер, викума, лама и др.), волна (овца) и филаменти (свила), како што е презентирано на сликата 2.3.



Слика 2.3. Поделба на животинските влакна

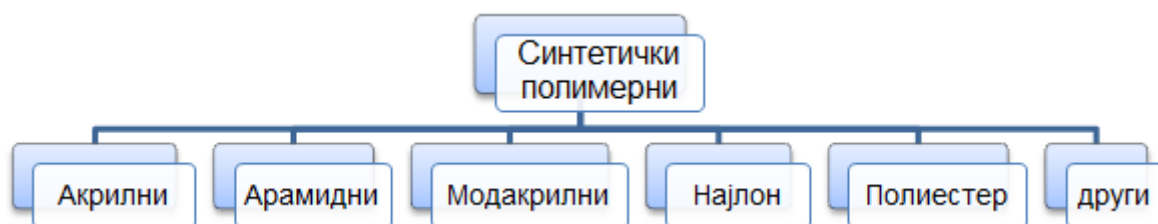
Во **минерални природни влакна** спаѓа влакното од азбест кое поради опасност по здравјето е отфрлено од генерална употреба.

Во **природни полимерни влакна** спаѓаат целулозните (рајон, лиоцел, ацетатни, триацетатни и др.), протеински (азлон), алингинатни (гумени), како што е прикажано на слика 2.4.



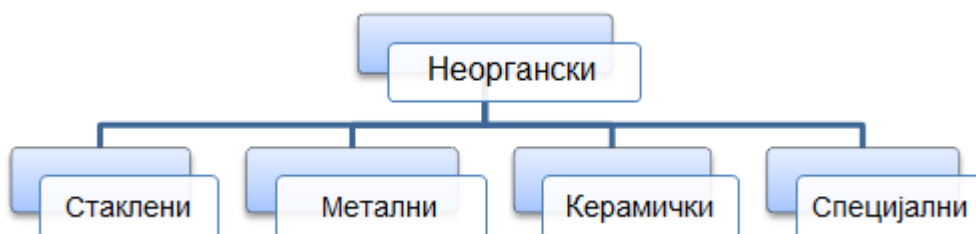
Слика 2.4. Природни полимерни влакна

Во **синтетички полимерни влакна** спаѓаат полиестерски, акрилни, полиетиленски, арамидни, полиамидни, полипропиленски, акрилни, модакрилни и други, кои се добиваат од термопластични полимери, слика 2.5.



Слика 2.5. Синтетички полимерни влакна

Во неоргански влакна спаѓаат стаклените, металните, керамичките и специјални влакна, слика 2.6.



Слика 2.6. Неоргански влакна

2.2. КЛАСИФИКАЦИЈА СПОРЕД ХЕМИСКАТА СТРУКТУРА

Без разлика на потеклото и нивните почетни материјали, текстилните влакна можат да се класифицираат и според хемиската структура, како што е прикажано во табелата 2.1. На овој начин сите влакна со слична хемиска структура се класифицирани заедно.

Табела 2.1. Поделба на влакната според хемиската структура

ЦЕЛУЛОЗНИ	ПОЛИАМИДНИ
Памук	Најлон 6 и 6.6
Лен	Арамид
Други природни целулозни влакна	Други најлон влакна
Рајон (Вискоза)	
ЦЕЛУЛОЗНО-ЕСТЕРСКИ	ПОЛИЕСТЕРСКИ ВЛАКНА
Ацетатни	Полиетилен терефталат
Триацетатни	Поли-1,4-циклохексилендиметилтен терефталат
	Други полиестерски влакна
ПРОТЕИНСКИ (ПРИРОДЕН ПОЛИАМИД)	АКРИЛНИ И МОДАКРИЛНИ

Волна	Акрилни
Свила	Модакрилни
Други природни и регенерирани протеински влакна	Други акрилни влакна
ПОЛИОЛЕФИНСКИ ВЛАКНА	МИНЕРАЛНИ И МЕТАЛНИ ВЛАКНА
Полиетиленски	Стаклени
Полипропиленски	Керамички
	Азбестни
	Метални
ВИНИЛНИ	ЕЛАСТОМЕРНИ
Винјон	Гумени
Винал	Спандекс
Винјон-винал матрица	Други еластомерни влакна
Саран	
Политетрафлуороетилен	
РАЗНИ ДРУГИ ВЛАКНА	
Новалоидни	Полиимидни
Јаглеродни	Поли(м-фенилендибензимидазолни)

Покрај овие два генерални критериуми на класификација на текстилните влакна, тие можат да се класифицираат и според:

Должината – на кратки влакна, со должина од 19 – 460 mm и континуирани филаменти. Од природните влакна само свилата е во форма на континуиран филамент, сите останати се кратки. За разлика од природните, произведените влакна, главно, се произведуваат како континуирани филаменти кои понатаму можат да се сечкаат.

Финоста – на ултра фини, фини, регуларни (обични) и груби.

ГЛАВА I

СОВРЕМЕНА СТРУКТУРА НА ТЕКСТИЛНИ ВЛАКНА

§3. СТРУКТУРАТА НА ТЕКСТИЛНИТЕ ВЛАКНАТА

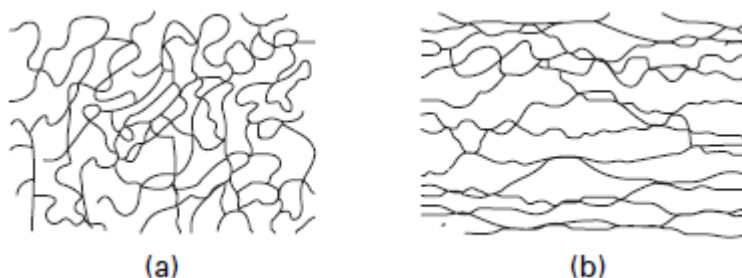
3.1. ВОВЕД

3.1.1. ПРИРОДА НА МАТЕРИЈАТА

Физиката на влакната е наука за структурата и физичките особини на влакната. Овие два аспекти, меѓутоа, не се независни: особините се објаснуваат со структурата која од своја страна ги детерминира особините. Заради оваа поврзаност не можеме да зборуваме за особините на влакната без да направиме преглед на нивната структура.

Материјата (супстанците) е изградена од атоми кои се меѓусебно поврзани со врски од различна јакост. Распоредот на атомите и јакоста на врските меѓу нив ги детерминираат физичките особини на материјалите. Така на пример, кај лесните атоми, како што се тие на хелиумот, кои меѓу себе се привлекуваат со многу слаби сили, енергијата на атомите е доволно голема да им овозможи независно, слободно да се движат наоколу, и во ваков случај велиме дека материјата е гас. Материјата исто така може да биде гас ако е изградена од потешки атоми, или молекули од два или три атоми кои меѓусебно се држат со јаки сили (валентни врски), доколку силите меѓу молекулите се слаби. Овие слаби сили често се нарекуваат van der Waals-ови сили. Ако молекулите се доволно тешки, а привлечните сили доволно јаки, тогаш атомите не ќе имаат доволно енергија, при собна температура, слободно да се движат и оддалечуваат еден од друг и во ваков случај велиме дека материјата е течност или цврста супстанца.

Некои материјали се изградени од џиновски молекули. На пример, кај кристалот на дијамантот, сите атоми се поврзани меѓу себе со валентни врски во правилна тридимензионална мрежа. Тоа резултира во многу тврд, нетоплив материјал. Кај графитот, кој е исто како дијамантот чист јаглород, атомите меѓу себе се поврзани со валентни врски само во единични рамнини; врските меѓу рамнините се слаби, затоа материјалот лесно се раздвојува во слоеви кои се лизгаат еден во однос на друг покажувајќи лубрикативни својства.



Слика 3.1. Безреден распоред кај долго-верижните молекули на гумата (a); ориентиран распоред на молекулите кај растегната гума (b)

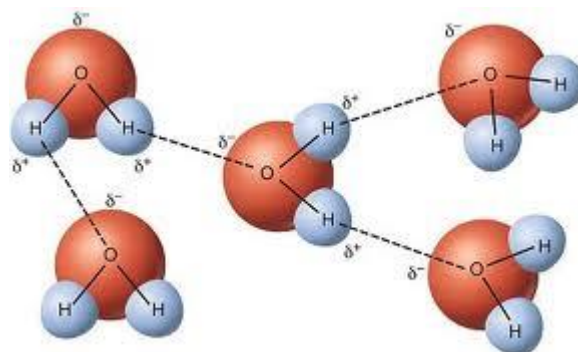
Кај линеарните полимери поврзувањето е само во една димензија. Бидејќи кај овие полимери постои флексибилност на ковалентните врски во главната верига и само слаба врска меѓу веригите тогаш под дејство на термичка енергија веригите добиваат безреден, случаен и испреплетен распоред, како на слика 3.1a. Кога материјалот е напрегнат, молекулите се исправаат, давајќи големо издолжување, слика 3.1b. Ова издолжување е реверзибилно (повратно), бидејќи по престанокот на напрегањето молекулите повторно добиваат хаотичен, испреплетен распоред. Ова е т.н. гуместа состојба, иако при вулканизацијата доаѓа до извесно вмрежување што му дава кохезивност на материјалот. При ниска температура или при јако поврзување ваквиот аморфен полимерен материјал преминува во стаклеста состојба т.е. во стаклеста пластика. Други линеарни полимери можат да кристализираат во правилна решетка и да продуцираат пластичен материјал, како што е полиетиленот, со средна крутост.

Од овие примери можеме да видиме дека карактеристиките на материјата се детерминирани од молекуларниот распоред.

3.1.2. ИНТЕРМЕДИЕРНИ ВРСКИ: ВОДОРОДНА ВРСКА

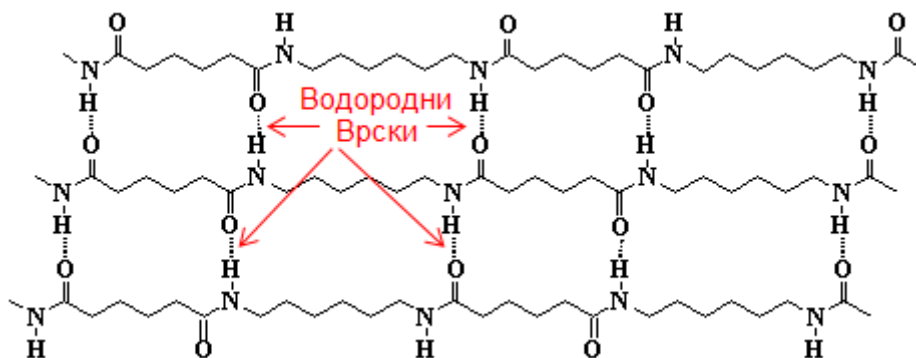
Покрај вообичаените ковалентни врски со кои атомите се сврзани во молекулата и вообичаените слаби van der Waals-ови интеракции меѓу молекулите постои и друг вид на врски со интермедиерна (средна) јакост, кои имаат многу важно влијание врз особините на влакната. Најдобар пример за тоа е водородната врска која се формира меѓу хидроксилните ($-OH$) групи. На сликата 3.2. даден е приказ на оваа врска кај молекулите на водата.

Водата ја илустрира важноста на водородната врска како со своите особини така и со улогата на најчест „пластификатор на влакната“. Под $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ водородните врски се доволно јаки да ги држат молекулите на водата заедно како кристалинична цврста супстанца, иако масата на молекулите е помала отколку кај многу други супстанции (пропан, бутан, водород сулфид, хлор, азот и др.) кои се гасови при оваа температура. При атмосферски притисок меѓу 0 и $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ водата е течна (во рамнотежа со водена пареа).



Слика 3.2. Водородна врска

Молекулите на водата се во мобилна динамична рамнотежа, со постојано кинење и создавање на водородни врски. Над 100 °C (при атмосферски притисок) сите молекули се расејуваат во гас. При обични температури, затоа, водородните врски се во многу чувствителна состојба: тие се на работ на кинење и затоа се многу чувствителни на промена на температурата, на применетите напрегања како и на хемиските и структурните промени. Директно или неизбежно тоа резултира во значителни ефекти врз некои влакна, како што се целулозните или полиамидните. Тоа влијае врз однесувањето на влакната, процесирањето и примената; молекулите на влакната при дадени услови можат да бидат круто држени заедно, можат слободно да се движат во динамичка рамнотежа или можат да бидат потполно слободни едни од други освен од заплетканоста на веригите. Водородни врски можат исто така да се формираат, како што е илустрирано на слика 3.3, меѓу $\text{CO}\cdots\text{NH}$ – групите, кои се присутни кај полиамидните и протеинските влакна.



Слика 3.3. Водородни врски меѓу $\text{CO}\cdots\text{NH}$ – групите кај полиамидните влакна

Кај некои влакна, може да има други врски со интермедиерна (средна) јакост. Така, кај акрилните влакна, асиметријата во распоредот на електроните во $\text{C}\equiv\text{N}$ групата, резултира во умерено јака електронска интеракција. Кај полиестерските влакна, и други врз база ароматски полимери, постои интеракција меѓу бензените прстени.

3.1.3. ПРИРОДАТА НА ВЛАКНАТА

Според дефиницијата на *Textile Institute* влакната се единица за материја, и се карактеризираат со флексибилност, финост и висок однос на должина спрема дијаметар т.е. дебелина. Кон овие карактеристики може да се додаде (ако влакното треба да е од било каква корист за општа текстилна намена) доволно висока температурна стабилност и извесна минимална јакост и умерена екстензибилност (растегливост).

Карактеристичните димензии на влакната претставуваат основа за нивната употреба и треба да се потенцираат: индивидуалните влакна (или елементи на континуиран филамент) тежат само неколку милиграми и нивниот однос тежина/ширина треба да е најмалку 1000:1, така да единично памучно влакно зголемено, за да биде да биде дебело како палецот од раката би било 100 m долго. Додатно на тоа, обичните текстилни влакна мора да бидат, барем делумно еластични до прекидно издолжување меѓу 5 и 50%. Ова е среден опсег на екстензибилност бидејќи стаклото и кристалините цврсти супстанции се многу помалку екстензибилни додека гумата е многу повеќе. Материјалите кои ги задоволуваат овие потреби, скоро сите се делумно ориентирани, делумно кристалини линеарни полимери. Забележителен факт е дека пазарот на скоро сите обични текстилни влакна е задоволен со шест полимерни видови:

- Природни полимери, *целулоза и протеини*
- Синтетички полимери, *полиамиди, полиестри, полиолефини и винил* (вклучувајќи и акрил)

Горните коментари се однесуваат за влакна наменети за општа текстилна апликација. Неодамна, за функционална апликација, претставена е втора генерација на високоперформансни влакна. Тие имаат висока јакост и ниска растегливост. Некои од нив се линеарни полимерни влакна, други се неоргански мрежи, и доколку се доволно фини, ја имаат потребна флексибилност. Стаклените и азбесните (кои повеќе не се користат од здравствени причини) се два вида на постари влакна во оваа група. Во другата крајност, еластомерните влакна се користат таму каде се бара посебно голема растегливост.

Постојат и други влакна како што се влакната во живите организми, металните, паметните и некои други кои се надвор од опсегот на овој курс.

3.2. МЕТОДИ ЗА КАРАКТЕРИЗАЦИЈА И ИСТРАЖУВАЊЕ НА СТРУКТУРАТА НА ВЛАКНАТА

Не постои една единствена техника која недвосмислено ќе даде информација за фината структура на влакната, па затоа е неопходно да се употреби знаењето од многу техники развиени во последниве стотина години. Дигиталното процесирање и зголемената снага на компјутерите значително ги зголемуваат

корисните информации кои можат да се добијат од физичкото инструментално тестирање.

Следниве методи на истражување се најкорисните:

- ◆ Микроскопија:
 - Оптичка микроскопија, која вклучува мерење на аголот на прекршување на светлината за одредување на ориентацијата.
 - Скенирачка електронска микроскопија, која главно се користи за идентификација на површината.
 - Аналитичка електронска микроскопија, за идентификација на атомите.
 - Трансмисиона електронска микроскопија за добивање на 3Д слика.
 - Микроскопија врз база на атомската сила
- ◆ Спектроскопија, за идентификација на вибрациите на хемиската врска и промената на локално ниво во близина на атомите:
 - Апсорпција на инфрацрвената радијација (зрачење)
 - Раманово (според C.V. Raman) расејување на светлината
- ◆ Дифракција:
 - Оптичка дифракција
 - Електронска и дифракција на X-зраци, за истражување на кристалната решетка и аморфната структура.
- ◆ Нуклеарна магнетна резонанса.
- ◆ Термичка анализа, за одредување на кристализацијата и топењето како точката на стаклосување.
- ◆ Оптичка апсорпција (*optical density*) и апсорпција на влага кои се поврзани со кристалиншноста

Информациите добиени од директните методи за структурните карактеристики мораат да се комбинираат со податоците за хемискиот состав на материјалот од која е изградено влакното, начинот на формирање на влакното и општите физички особини со цел да се стекне претстава за неговата фина структура.

Сите овие техники се подложни на грешки и процедурални недостатоци и директно, недвосмислено интерпретирање на експерименталните резултати ретко е можно. Во стварност, постои опасност од магичен круг: деталните калкулации базирани на одреден модел за структурата, неоправдано е да се земат како доказ за поддршка на моделот. Според тоа, становиштата за структурата на влакната можат да бидат изградени од збир на главно небитни, и веројатно неверодостојни докази. За жал, не постои поединец кој е експерт за проценка на сите техники и кој ќе може да одвои битно од небитно и веродостојно од неверодостојно. Истражувачот лесно може да се базира врз резултатите на некоја техника со која не е многу фамилијарен и недоволно свесен за тешкотијата во интерпретацијата на резултатите.

Меѓутоа, без разлика на овие тешкотии постои генерален консензус за многу аспекти на структурата на влакната.

Механичките особините на влакната во многу зависат и од амбиентната температура на која се наоѓаат односно дали се под или над така наречената **температура на стаклосување** (*glass transition temperature*), T_g . Температурата на стаклосување е карактеристична и уникатна особина на полимерите. Со оваа особина, а и со некои други карактеристични особини на влакната при нивно загревање (температура на топење и кристализација) ќе се запознаеме преку инструменталната метода за проучување на структурата на влакната која се нарекува диференцијална скенирачка калориметрија (*DSC – Differential Scanning Calorimetry*). Покрај за одредување на T_g оваа метода се користи и за одредување на степенот на кристалинечност односно аморфност кај влакната за што поопширно ќе зборуваме во следното поглавје. Од тие причини во продолжение ќе ја проучиме оваа метода.

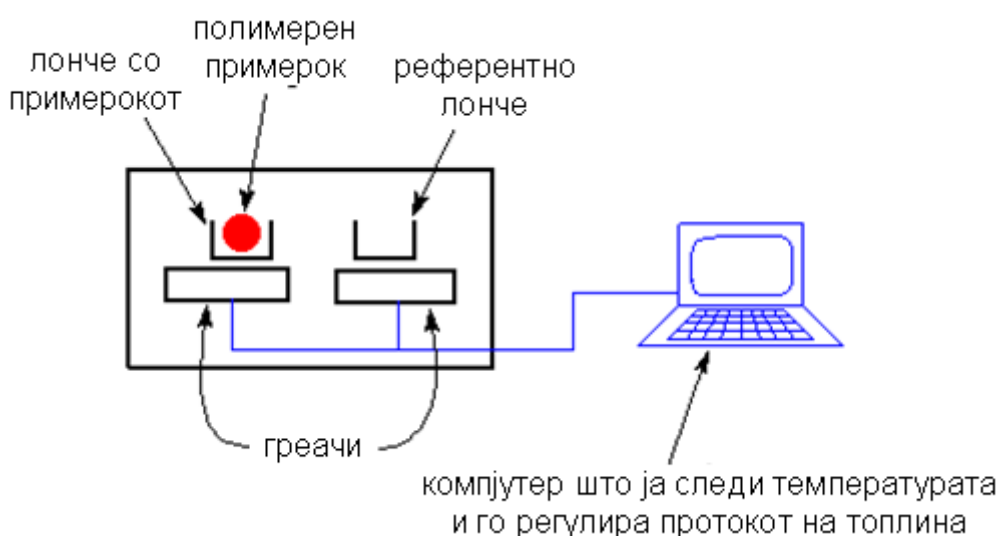
3.2.1. ДИФЕРЕНЦИЈАЛНА СКЕНИРАЧКА КАЛОРИМЕТРИЈА (DSC)

Диференцијалната скенирачка калориметрија е техника што ја користиме за да проучиме што се случува со полимерите кога се загреваат. Ја користиме за да ги проучиме, како што се вели, **термичките транзиции** на полимерот.

А што се тоа термички транзиции?

Тоа се промени што настануваат кај полимерот кога тој се загрева. Топењето на кристалинечниот полимер е само еден таков пример. Транзицијата во стаклеста состојба е исто така термичка транзиција. Па на кој начин проучуваме што се случува со полимерот кога се загрева? Првиот чекор при проучувањето секако би бил загревање на полимерот. И токму е тоа што го правиме со DSC.

Го загреваме полимерот во уред што шематски изгледа отприлика како на сликата 3.2.1:



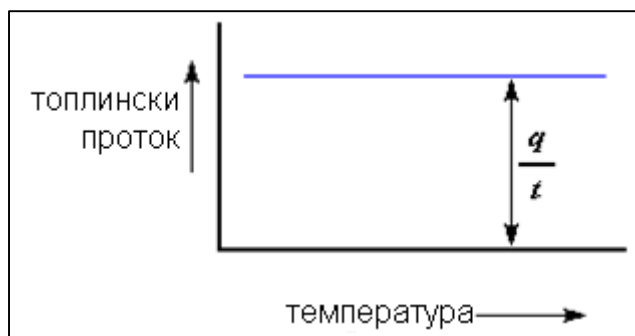
Слика 3.2.1. Шема на диференцијален скенирачки калориметар

Тој е навистина прилично едноставен. Има две лончиња. Во едното лонче, лончето за примерокот, го ставаме примерокот од полимерот. Другото лонче е референтно, него го оставаме празно. Секое од лончињата е поставено врз грејач. Потоа преку компјутерот се вклучуваат грејачите кои ги загреваат лончињата со константна брзина, обично со околу 10°C во минута. Компјутерот се грижи брзината на загревање да остане константна во текот на целиот експеримент. Но што е уште поважно, тој регулира двете одделни лончиња, кои имаат два независни грејачи, да се загреваат со иста меѓусебна брзина. Зошто е важно да се загреваат со точно еднаква брзина? Причината е едноставна, двете лончиња се различни. Едното содржи полимер во себе а другото не. Присуството на полимерниот примерок во лончето значи, само по себе, дека има повеќе материјал во тоа лонче. Самиот факт што има повеќе материјал значи дека му е потребна додатна топлина како лончето со полимерот би се загревало со иста брзина како референтното лонче. Тоа значи дека грејачот под лончето со примерокот треба да генерира повеќе топлина од грејачот под референтното лонче. Мерењето на екстра топлината што тој ја генерира е всушност она што го мериме при DSC експериментот.

Поточно, она што го правиме е следново: Правиме график при порастот на температурата. На x оската ја претставуваме температурата додека на y оската ја претставуваме разликата во генерираната топлина меѓу двата грејачи при дадена температура.

Топлински капацитет

Од овој график можеме многу нешто да осознаеме. Да замислиме дека грееме одреден полимер. Кога ќе почнеме да ги грееме нашите две лончиња компјутерот ја црта разликата во ослободената т.е. генерираната топлина меѓу двата грејачи во зависност од температурата. Со други зборови, графички ја претставуваме топлината што полимерот ја апсорбира во зависност од температурата. На почетокот кривата би изгледала отприлика како на слика 3.2.2:



Слика 3.2.2. Топлински проток наспроти температурата

Топлинскиот проток на дадена температура ни дава корисни податоци. Него го изразуваме во топлински единици, q , топлина доведена во единица време, t . Брзината на загревање претставува пораст на температурата T во единица време t .

$$\frac{\text{топлина}}{\text{време}} = \frac{q}{t} = \text{топлински проток}$$

$$\frac{\text{пораст на температурата}}{\text{време}} = \frac{\Delta T}{t} = \text{брзина на загревање}$$

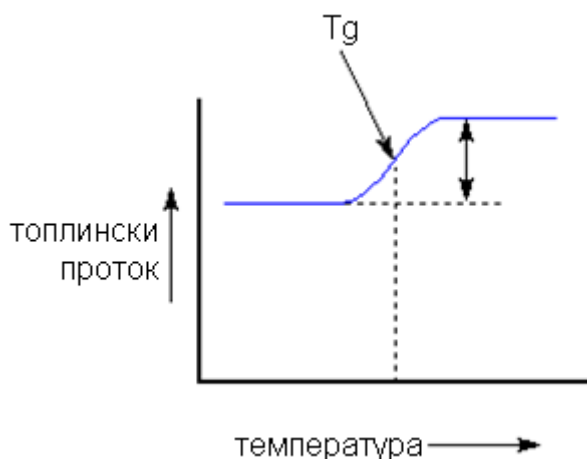
Ако сега го поделиме топлинскиот проток q/t со брзината на загревање $\Delta T/t$, ќе ја добиваме доведената топлина, поделена со порастот на температурата.

$$\frac{\frac{q}{t}}{\frac{\Delta T}{t}} = \frac{q}{\Delta T} = c_p = \text{топлински капацитет}$$

Значи од DSC кривата го определивме топлинскиот капацитет.

Температура на стаклосување, T_g

Се разбира дека не само c_p туку многу повеќе можеме да добиеме од DSC. Да видиме што ќе се случи ако го загрееме полимерот малку повеќе. При одредена повисока температура кривата ќе го промени нагло правецот нагоре, како на сликата 3.2.3.



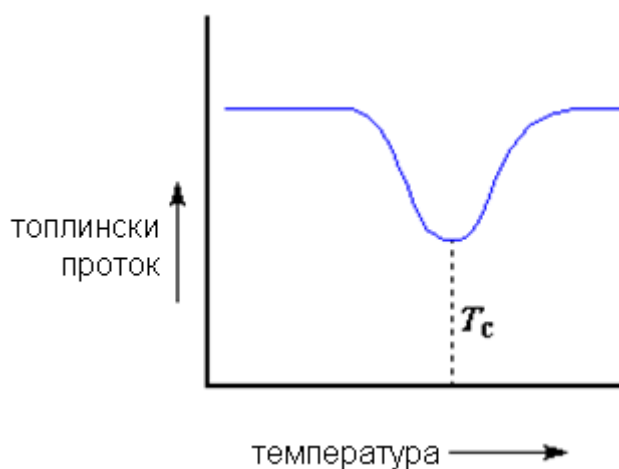
Слика 3.2.3. Топлински проток и температура на стаклосување

Ова значи дека сега добиваме поголем топлински проток, исто така значи, дека имаме зголемување на топлинскиот капацитет на полимерот. Ова се случува затоа што полимерот штотуку премина преку T_g . Тоа е температура на премин на полимерот од крпа состојба во гума состојба (и обратно, кога го ладиме полимерот ако е во состојба над T_g) и ја викаме **точка (температура) на стаклосување**. И како што е познато, полимерите имаат поголем топлински капацитет над T_g отколку под T_g . Токму заради оваа промена во топлинскиот капацитет што настанува при T_g , можеме да го користиме DSC за да ја определиме T_g . Може да се забележи дека промената не настанува нагло туку се случува во извесен температурен опсег, но за T_g се зема дека е средината на кривата, како што е означено со стрелката на сликата 3.2.3.

Кристализација

Над T_g полимерите се многу мобилни, постојано се во движење лево-десно, горе-долу, се вртат во место и никогаш не остануваат во една позиција подолго време. Кога ќе ја постигнат вистинската температура, добиваат доволно енергија да се придвижат во многу среден поредок кој што го нарекуваме **кристал**.

Кога полимерите ќе дојдат во кристалниот поредок тие оддаваат топлина. Кога оваа топлина се ослободува компјутерот мора да го намали интензитетот на греење на грејачот под лончето со полимерот за да се задржи униформното покачување на температурата. Ова смалување на топлинскиот проток се регистрира како големо пад на кривата на топлинскиот проток наспротив температурата, слика 3.2.4.



Слика 3.2.4. Кристализација на полимерот

Овој пад многу нешто ни кажува. Температурата на најнискиот дел од падот обично се смета за температура на кристализација на полимерот, T_c . Исто така можеме да ја мериме површината на падот и тоа ќе ни ја покаже **латентната енергија (топлина) на кристализација** на полимерот. Но она што е најважно е дека овој пад на кривата ни кажува дека полимерот всушност може да кристализира.

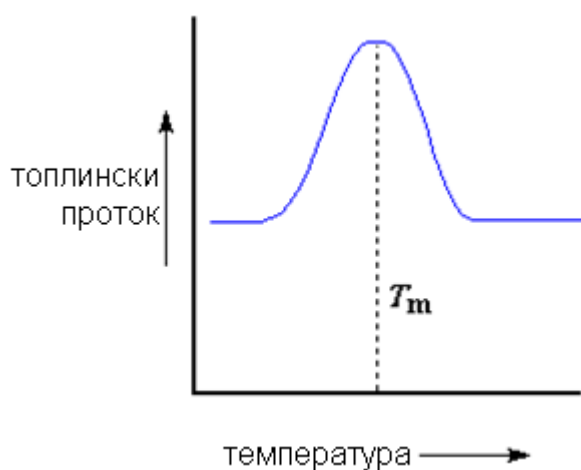
Ако анализираме 100% аморфен материјал, како што е атактичниот полистирен, нема да се добие ваков пад на кривата, бидејќи таквите материјали не кристализираат.

Бидејќи полимерот оддава топлина кога кристализира, кристализацијата уште ја викаме **егзотермна транзиција**.

Топење

Топлината овозможува во полимерот да се формираат кристали, но претераната топлина може да има спротивен ефект. Ако продолжиме да го загреваме полимерот над неговата T_c , евентуално ќе дојдеме до уште една термичка транзиција која ја викаме **топење**. Кога ќе се достигне температурата на топење на полимерот, T_m , полимерните кристали почнуваат да се распаѓаат, односно да

се топат. Веригите испаѓаат од средениот распоред и почнуваат слободно да се движат наоколу. DSC ни овозможува и оваа појава да ја уочиме на кривата. Како што постои латентна топлина на кристализација, така постои **латентна топлина на топење**. Кога полимерните кристали се топат, тие апсорбираат топлина. Да не заборавиме дека топењето претставува транзиција од прв ред. Тоа значи дека кога ќе се достигне температурата на топење, температурата на полимерот нема да се зголеми се додека сите кристали не се стопат. Од друга страна, тоа значи дека грејачот под лончето со полимерот треба да генерира повеќе топлина за да се постигне двојната цел: да се стопат кристалите и да се продолжи со порастот на температурата со иста брзина како онаа на референтното лонче. Овој екстра топлински проток во текот на топењето се покажува како голем пик на DSC кривата, како што е претставено на сликата 3.2.58.

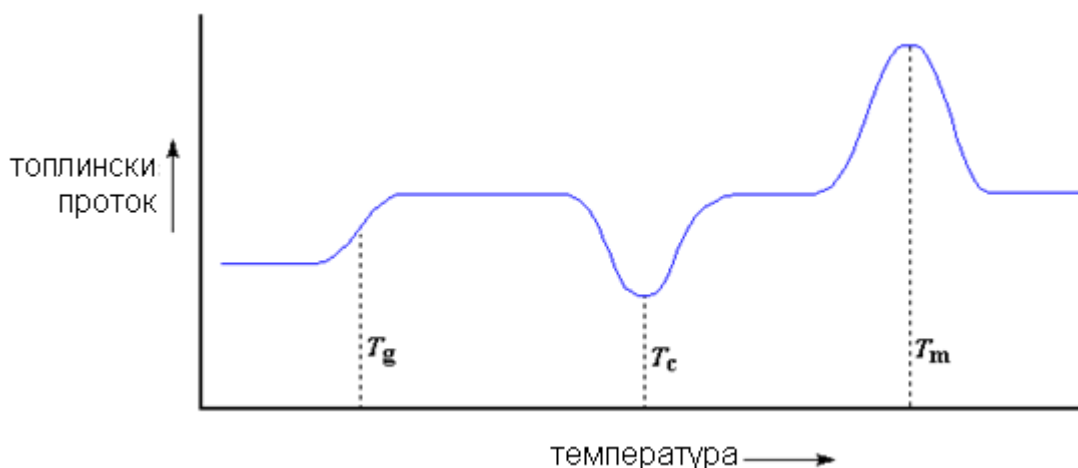


Слика 3.2.5. Температура на топење

Можеме да ја измериме латентната топлина на топење мерејќи ја површината на овој пик. Температурата на врвот од пикот, обично, земаме дека е температурата на топење на полимерот T_m . Бидејќи на полимерот треба да му донесеме енергија за да се стопи, топењето го викаме **ендотермна транзиција**.

Резиме

Да резимираме: видовме нагиб на графикот кога полимерот беше загреан над или преку својата T_g . Потоа видовме голем пад кога полимерот ја достигна својата температура на кристализација. На крајот, видовме голем пик кога полимерот ја достигна својата температура на топење. Сето ова заедно на графикот би изгледало како на слика 3.2.6:



Слика 3.2.6. Комплетен DSC график

Се разбира се што е прикажано на овој график не мора да биде на секој DSC график. Падот при кристализацијата и пикот при топењето ќе се покажат само за полимери кои можат да формираат кристали. Целосно аморфните полимери нема да покажат било каква кристализација ниту топење. Но полимерите кои имаат и кристалинични и аморфни области ќе ги покажат сите карактеристики на кривата на слика 3.2.6.

Ако внимателно ја погледнеме DSC кривата ќе забележиме голема разлика меѓу транзицијата во стаклеста состојба и другите две термички транзиции - кристализацијата и топењето. Кај транзицијата во стаклеста состојба нема ни пад нема ни пик. Тоа е затоа што нема оддавање или апсорпција на латентна топлина од страна на полимерот за време на транзицијата во стаклеста состојба, додека другите две транзиции, кристализацијата и топењето, се проследени со оддавање или апсорпција на топлина. Единствено што забележуваме при температурата на транзицијата во стаклеста состојба (која обично ја викаме *температура на стаклосување*) е промената во топлинскиот капацитет на полимерот.

Бидејќи доаѓа до промена во топлинскиот капацитет, но нема појава на латентна топлина поврзана со транзицијата во стаклеста состојба, транзицијата во стаклеста состојба ја викаме *транзиција од втор ред*. Транзициите како што се топењето и кристализацијата, кај кои има латентна топлина, се викаат *транзиции од прв ред*.

Одредување на кристалинлноста

DSC може да ни каже колку полимерот е кристалиничен и колку е аморфен. Како што знаеме многу полимери содржат и кристалиничен и аморфен материјал. Но колку содржат од едниот а колку од другиот? На ова прашање DSC може да ни даде одговор. Ако ја знаеме латентната топлина на топење, ΔH_m , можеме да го најдеме одговорот.

Прво што треба да направиме е да ја измреме површината на големиот пик при топењето на полимерот. Со тоа ќе добиеме крива на топлинскиот проток по грам материјал наспротив температурата. Топлинскиот проток е ослободена топлина во една секунда, па површината на пикот е дадена во единици од *топлина x температура x време⁻¹ x маса⁻¹*. Ова обично го презентираме во единици како *џули x келвини x (секунди)⁻¹ x (грамови)⁻¹*

$$\text{површина} = \frac{\text{топлина} \times \text{температура}}{\text{време} \times \text{маса}} = \frac{JK}{sg}$$

За да поедноставиме, при DSC експериментот, обично ја делиме површината со брзината на загревање. Брзината на загревање е во единици **K/s**. Па изразот постанува поедноставен.

$$\frac{\text{површина}}{\text{брзина на загревање}} = \frac{\frac{JK}{sg}}{\frac{K}{s}} = \frac{J}{g}$$

Сега добивме енергија по единица маса т.е. број на џули по грам. Но бидејќи ја знаеме масата на примерокот, можеме уште да поедноставуваме. Едноставно последниот израз го множиме со масата на примерокот:

$$\left(\frac{J}{g} \right) \cdot g = J$$

Сега само ја пресметуваме вкупната ослободена топлина кога полимерот се топи. Потоа истата калкулација ја правиме за падот на DSC кривата за кристализацијата на полимерот. Ќе ја добиеме тоталната апсорбирана топлина за време на кристализацијата. Топлината ја викаме *тотална издвоена топлина* во текот на топењето $H_{m,total}$ и аналогно, ја нарекуваме топлината на кристализација $H_{c, total}$.

Сега ги вадиме една од друга двете топлини:

$$H_{m,total} - H_{c,total} = H'$$

Зошто тоа го направивме? И што значи вредноста H' ? H' е топлина оддадена од тој дел на полимерниот примерок кој што веќе беше во кристалинична состојба пред да го загрееме примерокот над T_c . Сакаме да знаеме колку од полимерот беше кристалиничен пред да предизвикаме поголем дел од него да биде кристалиничен. Затоа ја вадиме издвоената топлината при кристализацијата. Сега со вредноста на H' можеме да ја пресметаме

процентната кристалинност. H' ќе ја поделиме со специфичната топлина на топењето H_c^* . Специфичната топлина на топењето е количината на оддадена топлина од одредена количина, обично еден грам од полимерот. H' е во џули, а специфичната топлина на топење обично се дава во џули на грам, па одговорот ќе го добиеме во грамови, и го означуваме со m_c .

$$\frac{H'}{H_m^*} = m_c \left[\frac{J}{J} = g \right]$$

Ова е вкупната количина на грамови од полимерот кој што бил кристалиничен под T_c . Сега ако го поделиме овој број со тежината на примерокот, m_{total} , го добиваме делот од примерокот кој што бил кристалиничен, и од тука, се разбира ја добиваме процентната кристалинност.

$$\text{кристалини чна фракција} = \frac{m_c}{m_{total}}$$

$$\% \text{ кристалинност} = \text{кристалини чна фракција} \times 100$$

3.3. ПРИСТАПИ КОН ПОЛИМЕРНАТА СТРУКТУРА НА ВЛАКНАТА

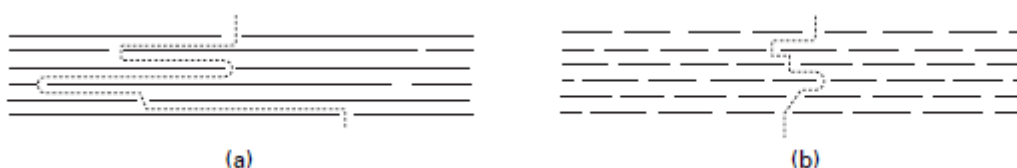
3.3.1. БАРАЊА ЗА ФОРМИРАЊЕ ВЛАКНА ОД ЛИНЕАРНИ ПОЛИМЕРИ

Основно барање кај структурата на влакната е да се најде начин како да се обезбеди континуитет и јакост долж влакното. Заради финоста на влакната попречната јакост не е од така голема важност. Кај влакната од линеарни полимери, континуитет обезбедуваат долго-верижните молекули. При размислувањето каков вид на молекуларен распоред на макромолекулите во структурата што го гради влакното е неопходен, можеме да си помогнеме од сознанието како се прави предиво.

Маса на сиров памук се состои од голем број на долги, фини влакна распоредени несредено и заплеткано, пример како молекулите на гумата, слика 3.4а. Со цел од сировиот памук да се направи предиво, треба влакната, помалку или повеќе, да се исправат паралелно едно во однос на друго и потоа да се усучат со што се предизвикува странична компресија која овозможува фрикционите сили да ги држат паралелните влакна заедно. Меѓутоа, завоите не смеат да ги слепат влакната заедно во крута шипка што ќе ја уништи флексибилноста и порозноста што се бара од текстилното предиво.

Од овој пример можеме да извлечеме аналогија за тоа кои би биле основните барања за формирање на влакната:

- долго-верижни молекули, соодветно на долгите влакна од кои се прави предивото: ако молекулите или влакната се прекратки, јакоста се губи, како што е илустрирано на слика 3.4.b.
- помалку или повеќе паралелен распоред на молекулите
- странични сили да ги држат молекулите заедно и кои ќе и дадат кохезивност на структурата
- извесен степен на слобода на молекуларно движење со цел да се даде неопходната екстензибилност на влакната и извесна отвореност за да може да се апсорбира влага и да го прифаќаат обојувањето.



Слика 3.4. Влијание на должината на влакната (или молекулите) врз јакоста: (a) долги влакна кои покажуваат кохезија; (b) кратки влакна кои покажуваат лесно кинење

Како што може да се види од овие барања усукувањето не е вклучено бидејќи тоа не е фундаментално барање туку само начин страничните фрикциони сили да бидат од помош при формирањето на предиво. Кај влакната, страничните сили имаат друга улога, а таа е да ги држат ориентираниот распоред на молекулите. Без нив, ќе има враќање во безреден распоред кој е карактеристичен за гумата.

3.3.2. РЕД И НЕРЕД ВО СТРУКТУРАТА НА ВЛАКНАТА

Влакната, како и слоевите или блоковите од истиот полимер, немаат макроскопска форма на кристали туку со помош на дифракција со X-зраци е покажано дека има региони на ориентирана кристална решетка попатена со аморфни региони. Ова индицира дека влакната се состојат од *делумно ориентирани, делумно кристалини, линеарни полимери*. Не е воопшто проблем да се сфати делумната ориентација како структура во која верижните молекули се приближуваат но целосно не постигнуваат подреденост паралелна на оската од влакното. Меѓутоа, има многу различни начини на кои кристалиноста може да биде некомплетна. Во литературата се презентирани многу различна слика за тоа. До извесен степен, тоа се толкувања кои се различни за различни влакна. Меѓутоа, сите тие се дводимензионални или квази-дводимензионални гледишта за тридимензионалната структура; само

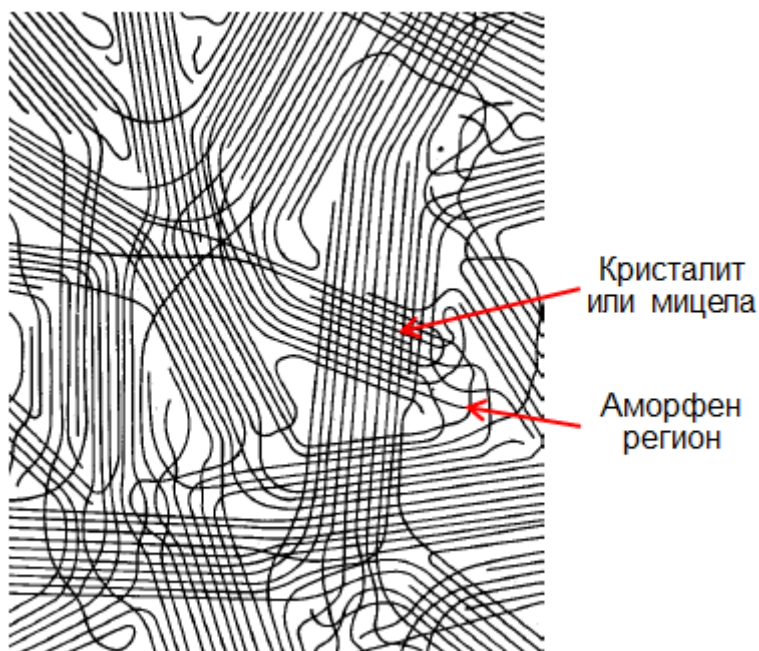
неколку од тие гледишта имаат квантитативна основа; и сите рефлектираат идеи и графичка умешност на авторите.

Резултатите од истражувањата со дифракционите методи индицираат дека структурата е смеса од ред и неред и се поддржани од вредностите за густината и апсорпцијата на влага како и од други аналитички техники. Меѓутоа, процените за релативните количества на ред и неред се разликуваат во зависност од употребената метода. Она што се знае за сигурно е дека има двојно повеќе неред кај регенерираната целулоза отколку кај памукот.

Со тек на времето, како се акумулирале сознанија за структурата на влакната и како се развивале техниките за нејзино истражување, претпоставени се неколку модели за нивната структура кои во продолжение хронолошки ќе ги разгледаме.

➔ **Модел на ресести мицели (Fringed-micelle model)**

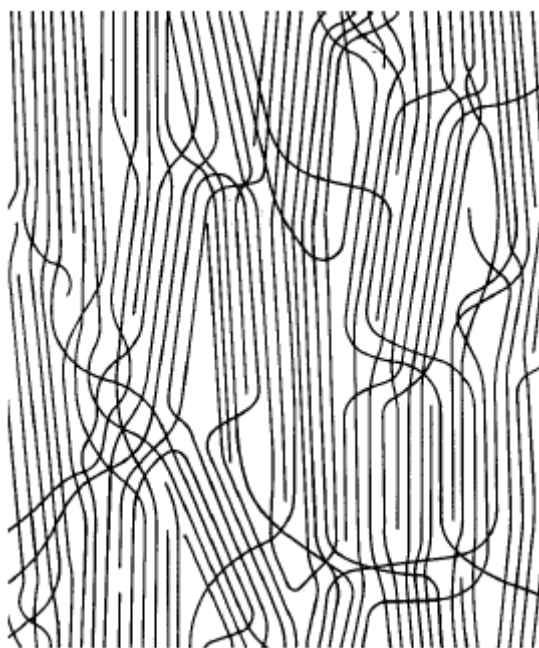
Димензиите на кристалиничните региони, добиени од истражувањата со дифракционите методи се од редот на 10 nm, што е за околу 1000 пати помалку од должината на молекулите. Ова сугерира дека структурата на влакната може да се претстави според моделот на *ресести мицели (fringed-micelle model)*. На сликата 3.5 прикажано е едно од најраните гледиште за структурата на влакната по кристализација од растоп.



Слика 3.5. Структура на ресести мицели кај неориентирани (невлечени) влакна

Како настанува ваква структура може да си претставиме ако замислиме еден голем куп на бисери нанижани на конци кои се целосно испреплетени. Ако

бисерите имаат куки и ако неколку луѓе почнат да ги закачуваат заедно, секој човек ќе создаде компактен регион на низи од бисери поврзани во правилен распоред. Но, по извесно време, активноста на еден човек ќе почне да пречи (да се меша) со активноста на друг човек: нема да биде можно некои вериги да се закачат бидејќи тие некаде веќе ќе бидат фиксирани. Меѓусебното закачување на низите од бисери ќе продолжи се додека не се создадат неколку региони на поврзани низи од бисери, додека меѓу нив, незакачените низи се растурени насекаде и можат да се поврзат меѓу себе само ако две низи поминат блиску една до друга. Тоа е токму аналоген распоред со оној прикажан на слика 3.5. Има кристалинични региони со правилен распоред и некристалинични (аморфни) региони, каде молекулите меѓусебно можат да бидат поврзани само на неколку места. Процесот е аналоген како кога кристализира неориентирана маса на верижни молекули; кристалити ќе се формираат на различни места и ќе продолжат да растат се додека не почнат да взаимодействуваат едни со други. Процесот на влечење на влакна кои се добиени со извлекување од растоп доведува до извесна ориентација, како што е прикажано на слика 3.6.



Слика 3.6. Структура на ресести мицели кај ориентирани (влечени) влакна

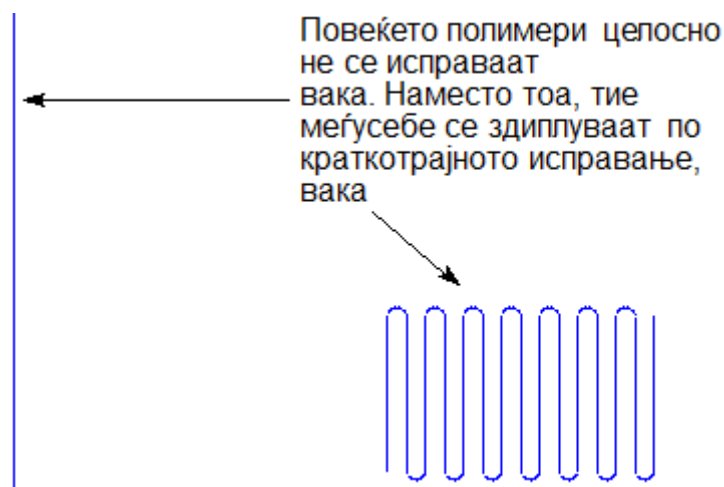


Една од постапките за добивање на синтетички влакна е со извлекување од растоп (*melt-spinning process*); а еден од начините за да се постигне поголема ориентација на молекулите од влакната е со нивно механичко влечење (*drawing*) пред да се солидифицира полимерот по излегувањето од спинеретот. Кај некои влакна влечењето се врши накнадно по солидификацијата.

Сликите 3.5 и 3.6 биле предложени за најлонски и полиестерски влакна, но според најновите проучувања се директно релевантни само за покрути молекули како што се целулозните. Забележително е што сите молекули се разресени на рабовите од кристалитите и продолжуваат како врзувачки (*tie-molecules*) молекули со други кристалити. Превиткување на веригата настанува само во аморфниот регион меѓу кристалитите.

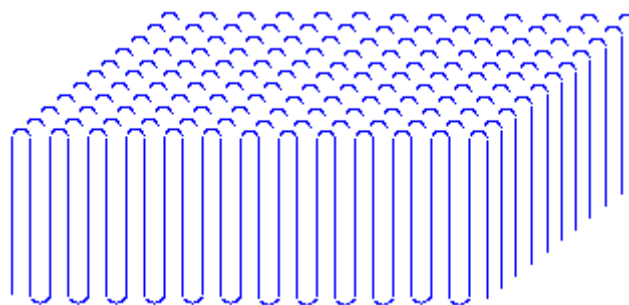
➔ **Модел на здиплени вериги (Chain-folded model)**

Многу полимери не можат со влечење (или на друг начин) да се исправат, всушност, многу малку од нив можат перфектно право да се ориентираат (освен полиетиленот со ултра-висока молекулска маса и арамидите). Повеќето полимери можат да се исправат само на мало растојание пред да се вратат назад и меѓу себе здиплат како што е прикажано на сликата 3.7.



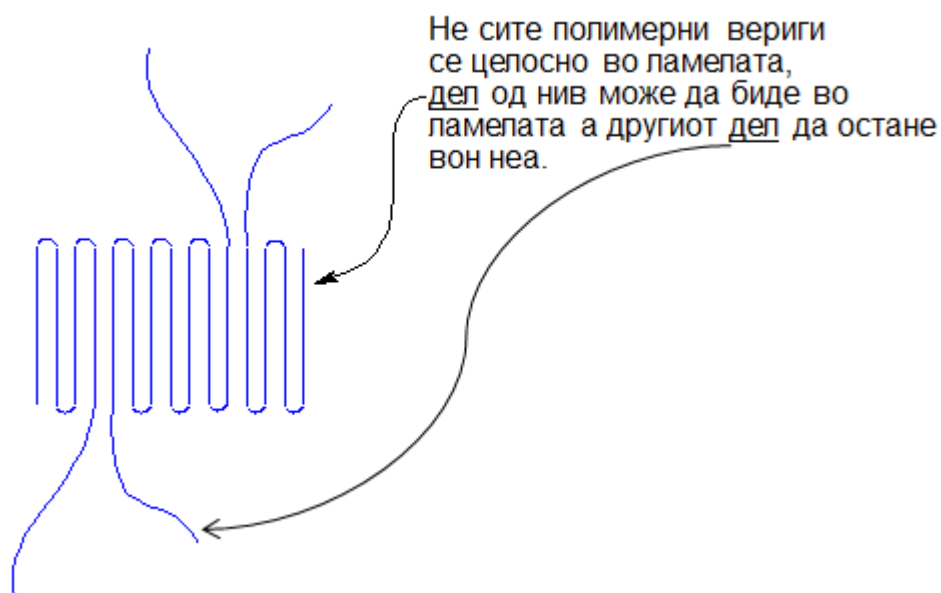
Слика 3.7. Здиплување на полимерите

Најдено е дека полимерите, вклучувајќи ги и оние од кои се извлекуваат влакна, можат да кристализираат од разреден раствор и да дадат единични кристали. Кај овие ламеларни кристали верижните молекули се здиплени горе-долу како што е шематски илустрирано на слика 3.7. Но полимерите, не само што се здиплуваат туку тие можат да формираат наслаги од здиплените молекули. Ваквата наслага ја нарекуваме ламела, слика 3.8.



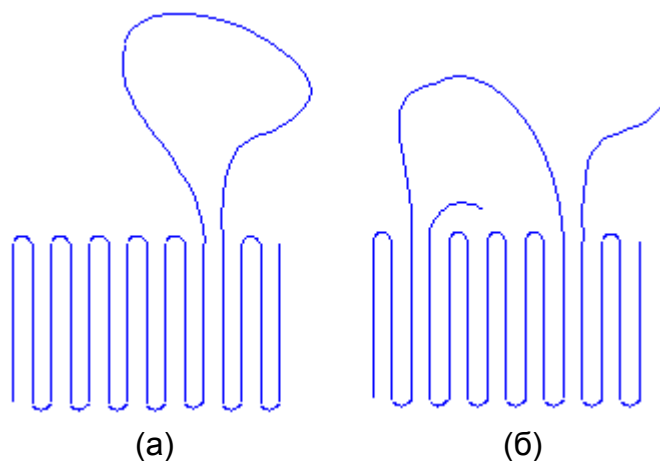
Оваа претстава за обликот на веригите (кога тие не излегуваат вон ламелата) ја нарекуваме *модел на соседно враќање (adjacent re-entry model)* за полимерната кристалинична ламела.

Но секогаш не е се вака егзактно, понекогаш дел од веригата е вклучена во кристалот а дел не е. Кога тоа е случај имаме состојба како на сликата 3.9, со вериги од ламелата кои висат насекаде вон ламелата.



Слика 3.9. Дел од веригите може да биде во кристалиничната ламела а дел во аморфниот регион

Веригите кои делумно се вон ламелата понекогаш остануваат таму но понекогаш можат да се вратат назад во ламелата како што е прикажано на сликата 3.10.

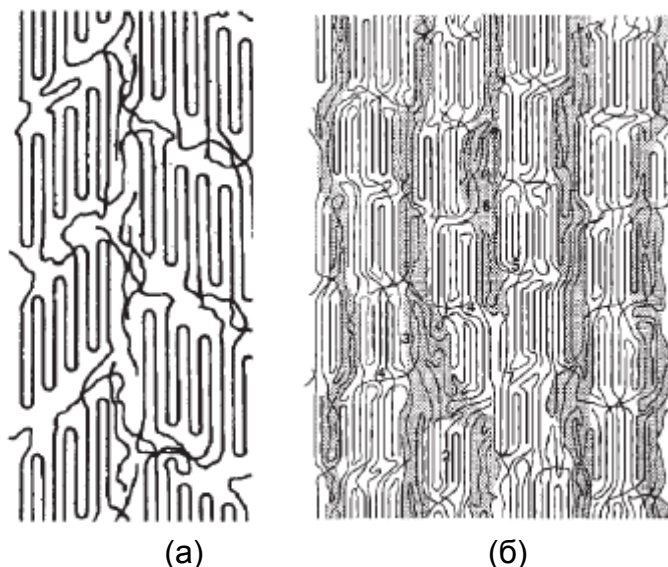


Слика 3.10. Дел од веригите се враќаат назад во кристалиничната ламела

На сликата 3.10а веригата се враќа во ламелата непосредно до местото од каде што излегла, додека на сликата 3.10б се враќа на извесно растојание од местото каде што излегла. Двата случаи се можни. Овие две слики го прикажуваат т.н.

командна-табла модел (*switchboard model*) на кристалиничната ламела од полимерот.

Слично здиплување може да настане и кај влакната и тоа довело до предлог за модифицирана ресесто-мицелна структура во која постои смеса на реси и дипли на крајот од секоја мицела. Сликата 3.11а го илустрира овој вид на структура.



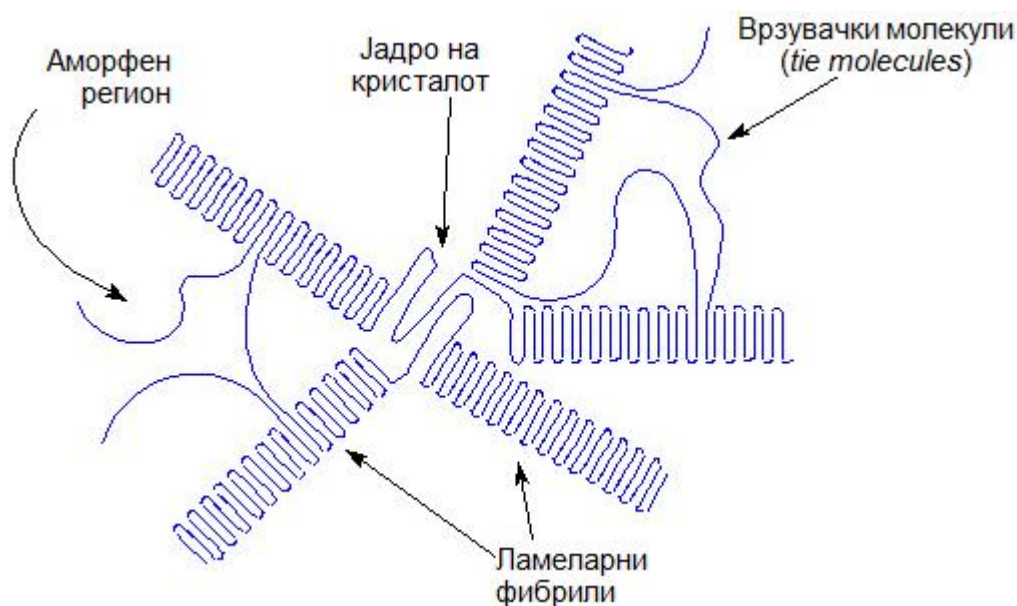
Слика 3.11. Поглед на фината структура на најлонските влакна;
(а) идеализирана структура (б) пореална структура

На оваа слика структурата е претставена премногу униформно, кај пореалната, слика 3.11б, претставена е варијацијата во големината на кристалите и пакувањето кое е базирано на резултати добиени со дифракција на X-зраци.

Ако ги погледнеме горните слики можеме да видиме дека дел од полимерот е кристалиничен а дел не е, што значи дека повеќето кристалинични полимери не се потполно кристалинични. Веригите, или дел од нив, кои не се во кристалите немаат правилен распоред. За нив велиме дека се во *аморфна состојба* или дека се во *аморфниот регион* од структурата на влакната. Тоа значи дека кристалиничните полимери се состојат од два дела: кристалиничен дел и аморфен дел. Кристалиничниот дел е во ламелата додека аморфниот дел е вон ламелата. Некои автори ова структура ја гледаат како „мали кристалинични инклузии имбедирани во аморфна матрица“.

➔ **Сферолитен модел (Spherulites model)**

Како што може да се види од сликата 3.12 ламелите растат од централното јадро по шема на шпиците од велосипедско колце. Понекогаш овие ламели се нарекуваат ламеларни фибрили. Фибрилите растат во три димензии па повеќе личат на сфери отколку на колца. Целиот овој „склоп“ се нарекува сферолит.



Слика 3.12. Кристалиничен полимерен сферолит

Во примерок од кристалиничен полимер кој тежи само неколку грами, има неколку милијарди сферолити. Меѓу кристалните ламели е аморфниот регион во кој нема ред на распоредот на молекулите. Како што можеме да видиме од горната слика и како што веќе спомнавме, една верига може да биде делумно во кристалиничната ламела а делумно во аморфна состојба. Некои вериги дури почнуваат во една ламела, го преминуваат аморфниот регион, и се придружуваат на друга ламела. Овие вериги се нарекуваат врзувачки молекули (tie molecules).

Значи, не постои полимер кој е целосно кристалиничен; за пластиката тоа е поволно. Кристалиничноста го прави материјалот јак но го прави и крт. Целосно кристалиничен полимер би бил премногу крт за да се користи како пластика. Аморфните региони му даваат на полимерот флексибилност, т.е. способност да се витка без да се скрши.

Но кај влакната пожелно е полимерите да бидат што е можно покристалинични. Тоа е затоа што всушност влакната се долги кристали.



Многу полимери се смеси на аморфни и кристалинични региони, но некои се високо-кристалинични а други високо-аморфни

Во табелата 3.1, во овој контекст, презентирани се некои полимери кои се стремат кон екстремите.

Табела 3. 1. Аморфни и кристалини полимери

Некои високо кристалини полимери	Некои високо аморфни полимери
Полипропилен	Поли(метил метакрилат)
Синдиотактичен полистирен	Атактичен полистирен
Најлон	Поликарбонат
Kevlar, Twaron, Nomex	Полиизопрен
Поликетони	Полибутадиен



Иако спомнавме три модели на градбената структура на полимерните влакна, овие модели не можеме да ги посматраме како одделни, независни еден од друг. Всушност секој модел претставува надградба на претходниот и содржи негови елементи како и некои нови карактеристични за моделот.

Зошто во овој курс даваме толку голем акцент на структурата на текстилните влакна? Причината е едноставна. Структурата ги детерминира својствата додека својствата ја детерминираат апликацијата, сликата 3.13.



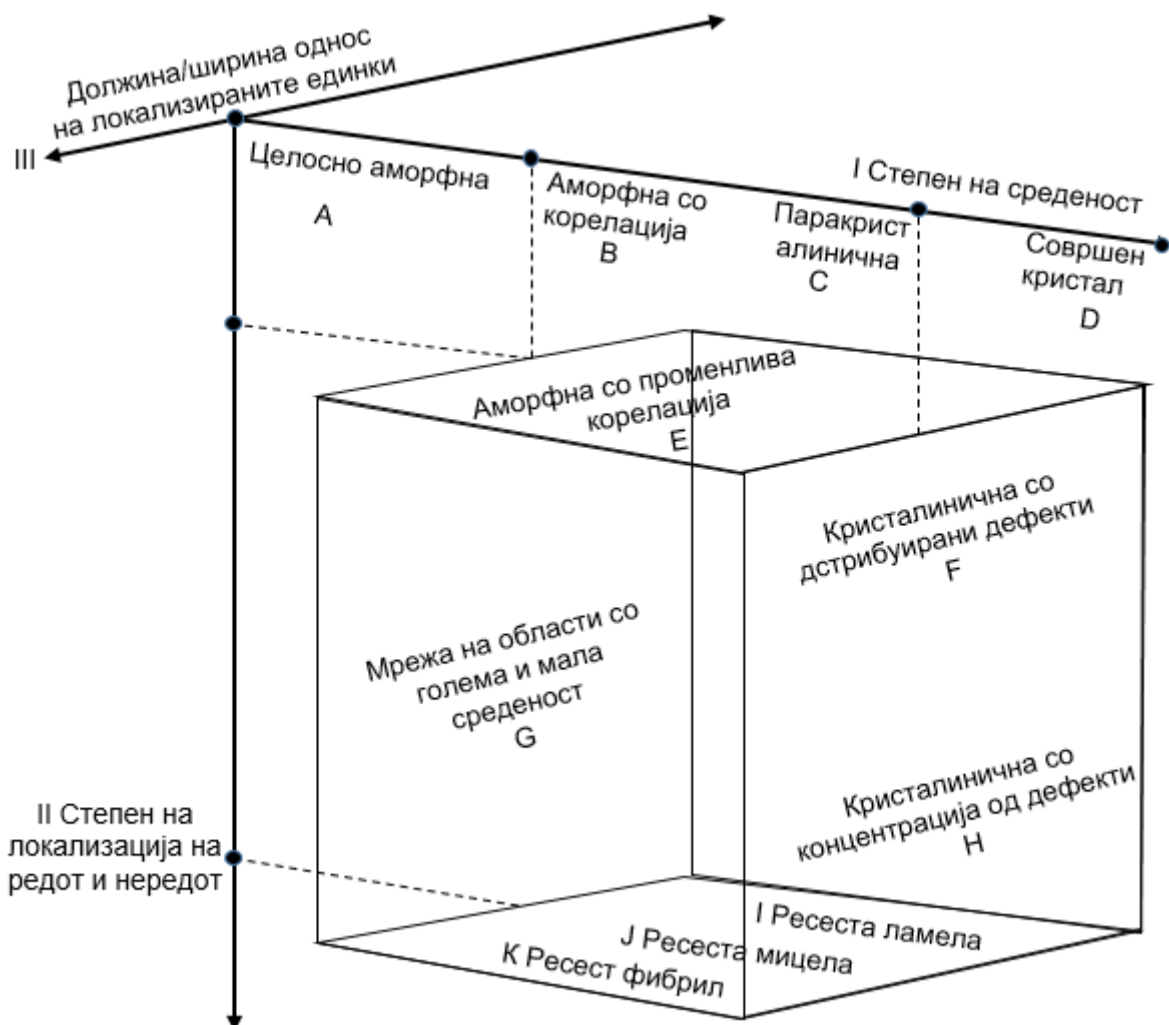
Слика 3.13. Структурата на текстилните влакна ги одредува нивните својства; од својствата на текстилните влакна зависи нивната апликација

§4. ГЕНЕРАЛНО ГЛЕДИШТЕ ЗА СТРУКТУРАТА НА ВЛАКНАТА

За структурата на влакната постојат шест генерални карактеристики кои се сметаат за најважни за квантитативна карактеризација:

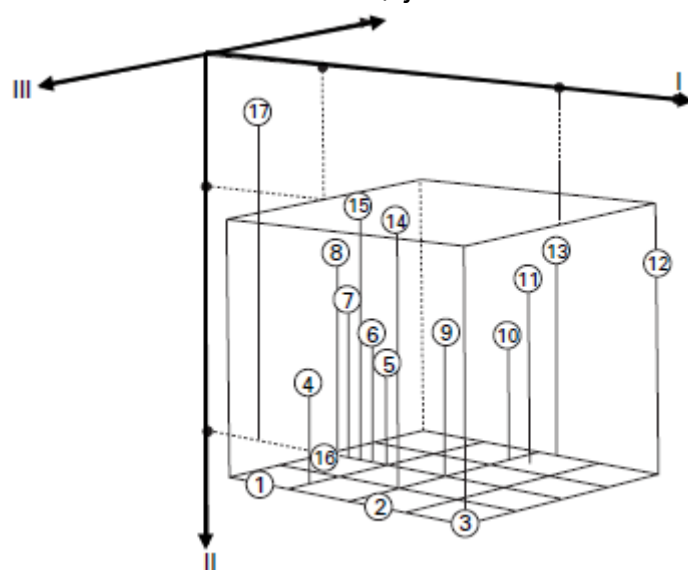
- ♦ **Степенот на подреденост**, кој всушност го нарекуваме кристалинност.
- ♦ **Степен на локализација на подреденоста**, кој претставува разлика меѓу структурите со јасно дефинираната сепарација (разлика) меѓу кристалинните и аморфните региони од една страна и (а) поуниформните структури познати како паракристалинни, (б) како аморфни со корелација, (в) или како структури што содржат дистрибуирани кристални дефекти.
- ♦ **Односот должина/ширина на локализираните единици**, кој ја прави разликата меѓу *ламелните, мицелните и фибрилните форми*.
- ♦ **Степен на ориентација**, кој може да биде поделен на кристалинчна и аморфна ориентација и може да вклучи како трансверзална (попречна) така и аксијална ориентација.
- ♦ **Големина на локализираните единици**, која може да го опфати попречниот облик.
- ♦ **Молекулска должина**, која претставува спротивна мерка на степенот на здипленост на молекулите лево-десно на краевите од кристалитите (или во аморфните региони) или алтернативно тие (молекулите) можат да бидат помалку или повеќе потполно исправени долж влакното

Првите три карактеристики можат да се прикажан на триаксијален график, како што е прикажано на сликата 4.1, додека останатите три, можат да се применат на било која структура дефинирана со првите три. Различните видови на структури се означени со нивната позиција на графикот, слика 4.1.



Слика 4.1. Шематски приказ на структурата на влакната во однос на трите главни променливи

На сликата 4.2. означена е можната позиција на некои влакна.



Слика 4.2. Можна локација на различни влакна на графикот;

- | | |
|---------------------------------|------------------------------|
| 1. Волна и други влакна од коса | 10. Полиамидни |
| 2. Свила | 11. Полипропиленски |
| 3. Памук и други растителни | 12. Линеарни полиетиленски |
| 4. Модален рајон и лиоцел | 13. Разгранети полиетиленски |
| 5. Обичен рајон | 14. Акрилни |
| 6. Триацетатни | 15. Поливинил хлоридни |
| 7. Секундарни ацетатни | 16. Спандекс |
| 8. Регенерирани протеински | 17. Гума, атакт. полистирен |
| 9. Полиестерски | . |

Да ја разгледаме поединечно секоја од овие шест главни карактеристики:

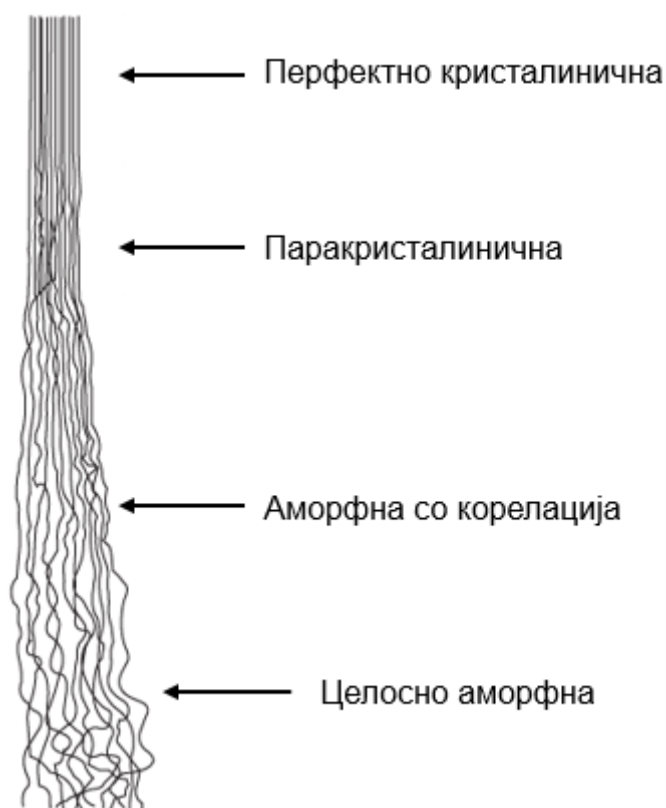
Степен на подреденост теоретски би се дефинирал како средна вредност на некоја корелациона функција која ги поврзува позициите на соседните вериги. Посебно, може да се дефинира преку густината според равенката:

$$\text{Степен на подреденост} = \frac{\rho - \rho_{am}}{\rho_{cr} - \rho_{am}}$$

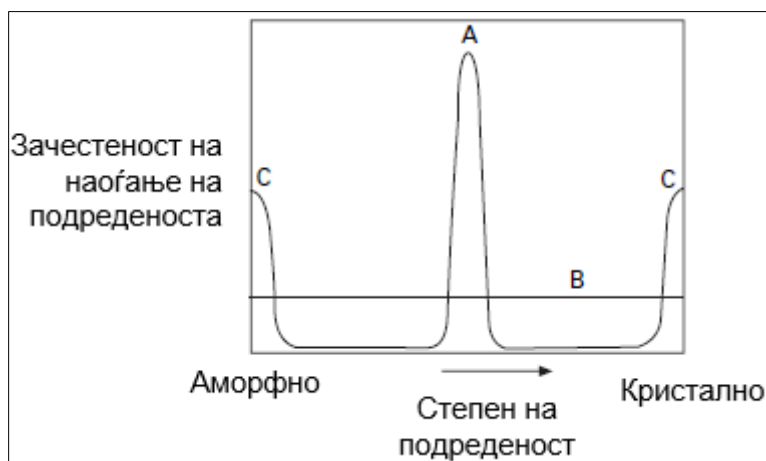
каде ρ е густината на влакната, ρ_{am} е густината на аморфниот материјал и ρ_{cr} е густината на кристалиниот материјал. Вредностите за степенот на подреденост ќе имаат опсег од нула, за целосно аморфно влакно, до единица, за совршено кристалинично влакно. Алтернативно, процени за степенот на подреденост може да се добијат и со други методи како што се дифракција на X-зраци, инфра-црвена апсорпција и нуклеарна магнетна резонанса.

На сликата 4.3. е илустриран опсегот на степенот на подреденост кај целулозата, кај која се смета дека постои континуирана транзиција од потполно аморфна материја до совршено кристалинична.

Степен на локализација на подреденоста би можело теоретски да се дефинира преку некоја мерка за растурањето на вредностите на степенот на подреденост земен за зони кои се неколку молекули широки. Униформната дистрибуција А, слика 4.4, би имала ниска вредност, В би била поголема, и С би имала најголема вредност бидејќи таа претставува раздел меѓу одделните подредени и неподредени региони. Експериментално, степенот на локализација на подреденоста може да се процени преку индиректни методи на пример со електронска микроскопија на структурата.



Слика 4.3. Степен на подреденост на верижните молекули кај целулоза



Слика 4.4. Презентација на многуте можни дистрибуции на степенот на подреденост: А - униформна интермедиерна подреденост; В – сите степени на подреденост се рамномерно претставени во различните региони; С – смеса на високо подредени и високо неподредени региони;

Односот должина/ширина на локализираните единки е поочигледен параметар кој има опсег од бесконечно, за многу долгите фибрили, до единица за коцкести мицели и нула за изразито рамни структури. Во овој контекст, под „должина“ подразбираме насока на верижната оска. Кај ламелните кристали, овој однос вообичаено е да се посматра како дебелина/ширина.

Важно е да се напомним дека сите параметри варираат континуирано и дека нема остри граници меѓу различните форми на структурата презентирани на сликата 4.1. Едната форма се слева во друга. Во дадена точка, нередот во паракристалиничната структура станува толку голем што таквата структура можеме да ја сметаме како аморфна со корелација. Бидејќи корелацијата варира од точка до точка, таа може да стане толку засебна (дистинктивно различна) што тие точки можат да се сметаат како кристалинични или аморфни.

Двата параметри, **степенот на ориентацијата**, кој е теоретски дефиниран преку средниот агол меѓу верижните молекули и оската на влакното, и **големината на локализираните единки** (овај параметар е мерка за груба и фина текстура) не даваат причина за било каква суштинска концептуална тешкотија и за нивно дефинирање можат да се извршат експериментални процени.

Должината на молекулите не може директно да се измери но има големо влијание врз јакоста. Јакоста на текстилното предиво не зависи само од должината на влакната туку и од степенот на здипленост на влакната.



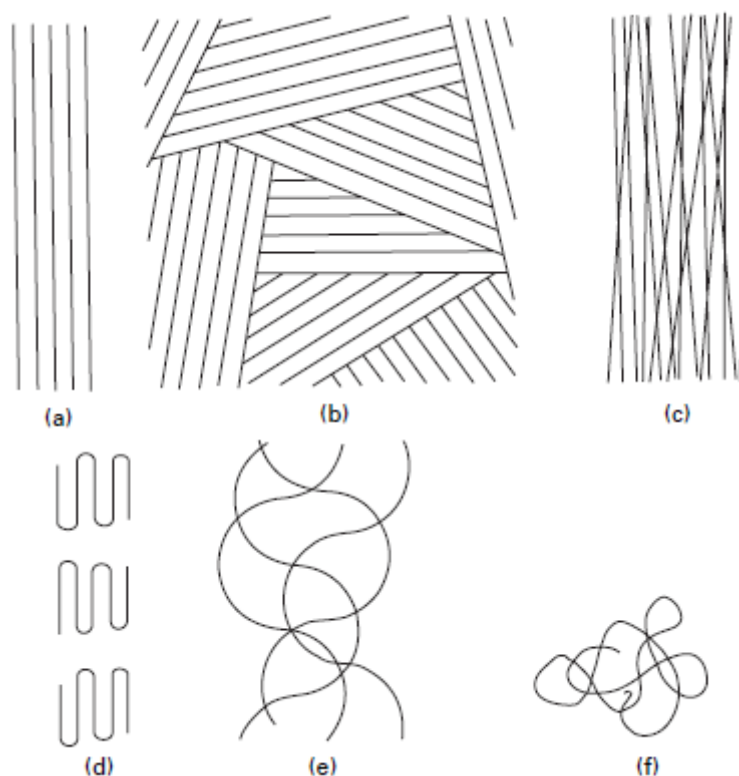
Слика 4.5. Должина на долга верига во структурата

Кај многу здиплените форми, слика 4.5, должината на молекулата е приближно иста со должината на диплата.

Со соодветни постапки за теоретска анализа, можно е да се прогнозираат многу од особините на влакната користејќи го знаењето за хемизмот на верижните молекули; за шесте параметри на фината структура како и од макроскопските структурни карактеристики.

Подреденост, ориентација и должина

Степенот на подреденост, степенот на ориентација и молекулската должина често се побркуваат. Тоа е затоа што во екстремни случаи сите се сведуваат како високи или ниски вредности, слика 4.6a – 4.6f. На сликата јасно е презентирана разликата меѓу овие параметри. Како што може да се види, високо



Слика 4.6. (a) Максимална подреденост, ориентација и должина. (b) Висока подреденост, нула ориентација. (c) Мала подреденост, висока ориентација. (d) Висока ориентација, мала должина. (e) Нула ориентација, голема должина. (f) Минимална подреденост, ориентација и должина

подредената структура може потполно да биде дезориентирана бидејќи е изградена од одделни кристали насочени во сите правци.

§5. СТРУКТУРА И ПЕРФОРМАНСИ

5.1. ПЕРФОРМАНСНИ БАРАЊА ЗА ТРАДИЦИОНАЛНА УПОТРЕБА

Основни барања за текстилните влакна се финоста и должината. Следни барања се: адекватна механичка, хемиска и термичка стабилност. Понатамошните барања зависат од употребата на влакната. За традиционална употреба механичките својства треба да се со средна јакост. Влакната треба да покажуваат делумно враќање кон првобитната состојба ако се истегнат меѓу 5% и 50%. Кај природните влакна тоа се постигнува преку нивната хемиска и структурна градба додека кај произведените (хемиски, кои уште ги нарекуваме вештачки) влакна – преку делумната кристалинност и ориентираност. Покрутите влакна, како што се памучните, даваат „поостри“ ткаенини, додека ниско-модулните (понекрутите) влакна, како што се ацетатните, даваат полабави, драперливи ткаенини. Модата диктира кои се повеќе посакувани. Кај произведените влакна со контрола на ориентираноста се постигнуваа спектар

на влакна со зголемена крутост и јакост и намалено прекидно истегнување. За облека повеќе посакувани се порастегливи форми, додека за индустриска употреба се користат покрути.

Апсорпцијата на влага е корисна за комфорот. Апсорбираната влага овозможува и електро спроводливост со што се спречува создавање на статички електрицитет, кој во спротивно се спречува со анти-статски финиши. Способноста за боење е друго барање ако влакната се користат за облека или мебел. Кај природните и регенерираните влакна кои набобруваат во вода и кои имаат интерактивни групи, боењето е лесно. Кај синтетичките полимерни влакна не може да се постигне така добро обојување како кај природните влакна.

5.2. ПЕРФОРМАНСНИ БАРАЊА ЗА НОВА УПОТРЕБА

Во втората половина од минатиот век напредокот во науката за материјалите и новите апликации на материјалите во вид на влакна го отворија пазарот за влакна со особини кои се различни од оние за традиционална употреба. Иако се најдени многу апликации, сепак композитите беа главна моторна сила за НМ-НТ влакната. Први за таа намена се употребени стаклените влакна (фиберглас) кои ја имаат неопходната крутост. Јаглородните влакна заради правилното 2Д ковалентно поврзување се одликуваат со извонредна крутост и јакост и заради тоа интензивно се користат за структурни композити. Керамичките влакна, покрај јакоста и крутоста, се одликуваат со извонредна термичка отпорност па заради тоа се користат за изработка на композити кои се изложени на висока температура. Најголемата предност на овие материјали, особено ако се користат во авионската индустрија, е нивната мала тежина во споредба со металите кои порано традиционално се користени (титан, алуминиум).

НМ влакна наоѓаат голема употреба за изработка на облека за балистичка заштита каде со своите исклучителни особини и малата тежина ги истиснуваат традиционалните материјали. Друга голема примена новите технички влакна наоѓаат за изработка на јажиња, кабли, на пример, за влечење на бродови или како зајакнувачи за оптички влакна.

§6. ФЛЕКСИБИЛНОСТ НА ВЛАКНАТА

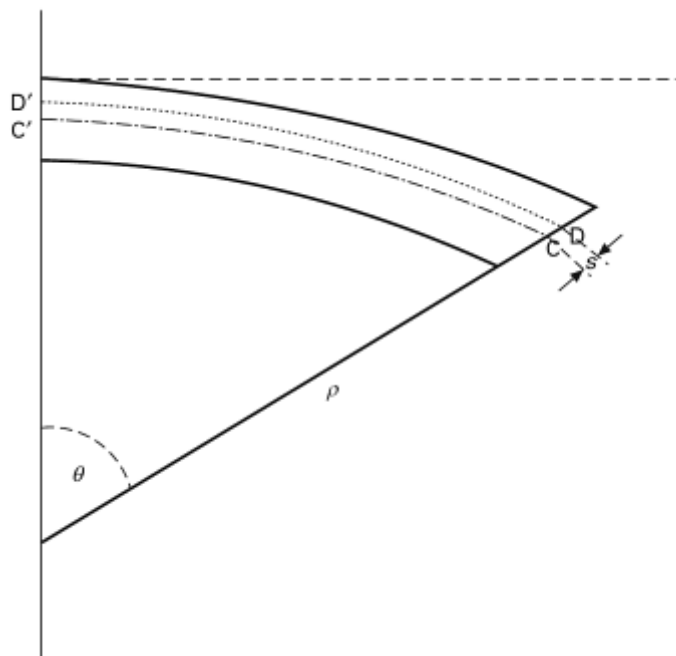
Очигледна карактеристика на влакната е нивната флексибилност. Нивната можност да се свиткуваат претставува основа за драперливоста на облеката и тоа не е важно само за текстилна апликација туку и во производните процеси за современите композити зајакнати со влакна. Некои влакна се извонредно крути при затегање; некои се дури неколку пати покрути од челикот, а сепак се флексибилни. Тоа значи дека тие можат да се ткаат, плетат или да се трансформираат во некоја друга текстилна форма. Со цел да се разбере оваа карактеристика ќе ги разгледаме факторите кои влијаат врз крутоста при

свиткување. За таа цел ќе разгледаме едноставна еластична греда, хоризонтално прицврстена на едниот крај, како што е прикажано на слика 6.1. Ако е доволна тенка ќе видиме дека се свиткува под дејство на сопствената тежина. Алтернативно можеме да ја оптовариме за да се свитка од хоризонталната положба.

Прашање е како се менува флексибилноста на гредата ако ја менуваме нејзината дебелина?

При свиткувањето на гредата, нејзината долна, конкавна, страна, е изложена на компресија, додека, горната, конвексната, страна се растегнува и е изложена на затегање. Постои и неутрална оска каде напрегањата се нула. Ако е гредата направена од еластичен материјал оваа неутрална оска ќе биде во средината на пресекот $C'C$. Ако претпоставиме мало свиткување можеме да напишеме:

$$C'C = \rho\theta$$



Слика 6.1. Хоризонтална греда фиксирана на едниот крај се свиткува под дејство на сопствената тежина

Да го разгледаме пресекот $D'D$ на извесно растојание од неутралната оска. Како што веќе спомнавме, овој пресек на сликата 6.1, се издолжува и неговата должина е:

$$D'D = (\rho + S)\theta$$

Од овие две равенки можеме да видиме дека предизвиканата деформација во пресекот $D'D$ е дефинираме како однос меѓу зголемувањето на должината со почетната должина на гредата:

$$\text{Деформација во } D'D = \frac{D'D - C'C}{C'C} = \frac{\rho\theta - \rho\theta + S\theta}{\rho\theta} = \frac{S\theta}{\rho\theta} = \frac{S}{\rho} \quad 6.1$$

Гредата има попречен пресек и напрегање долж линијата D'D. Ако претпоставиме дека дебелината и е многу мала, напрегањето го дефинираме со силата, δF , на овој елементарен дел од гредата поделена со нејзиниот попречен пресек δA . Според Хуковиот закон, кој ги поврзува напрегањето, σ , деформацијата, ε , и крутоста, E , која често ја нарекуваме Јангов модул, за еластично тело пишуваме:

$$\sigma = E\varepsilon$$

Според тоа:

$$\frac{\delta F}{\delta A} = E \cdot \frac{S}{\rho} \quad 6.2$$

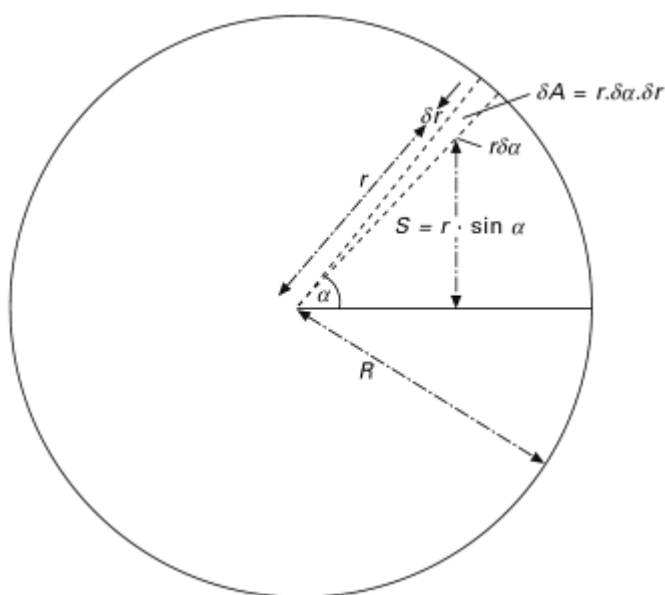
Бидејќи D'D е растојанието S од неутралната линија C'C, силата δF предизвикува обртен момент δFS во гредата, така што од равенката 6.2 добиваме:

$$dFS = E \frac{S^2}{\rho} dA$$

што значи дека вкупниот момент на свиткување M_s е даден со:

$$M_s = \int E \cdot \frac{S^2}{\rho} dA = \frac{E}{\rho} \left(\int S^2 dA \right) = \frac{E}{\rho} I_A \quad 6.3$$

каде I_A е познат како *втор момент на инерција*. Треба да се напomenи дека овој момент е во врска со свиткувањето и дека нема врска со инерцијата при движење која што е дефинирана со првиот Њутнов закон.



Слика 6.2. Попречен пресек на кружно влакно

Ако земеме дека влакното е со кружен попречен пресек можеме да го најдеме вториот момент на инерција за кружна греда. На сликата 6.2 е прикажан попречниот пресек на кружна греда.

Треба да ја најдеме релацијата за попречен пресек од елементарниот пресек на растојание S од неутралната оска, која поминува низ центарот на влакното. Од сликата 6.2 гледаме дека во поларни координати, δA може да се напише како:

$$dA = r \delta r \delta \alpha$$

исто така и дека:

$$S = r \sin \alpha$$

Тргувајќи од равенката 6.3 сега можеме да напишеме:

$$I_A = \int_0^{2\pi} \int_0^R r^2 \sin^2 \alpha (r dr d\alpha)$$

Бидејќи:

$$I_A = \int_0^{2\pi} \sin^2 \alpha d\alpha \int_0^R r^3 dr$$

и:

$$\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$$

следи:

$$I_A = \int_0^{2\pi} \frac{1 - \cos 2\alpha}{2} d\alpha \int_0^R r^3 dr$$

$$I_A = \left[\frac{\alpha}{2} - \frac{\sin 2\alpha}{4} \right]_0^{2\pi} \left[\frac{r^4}{4} \right]_0^R$$

Бидејќи:

$$\sin 2\pi = 0$$

$$I_A = \left[\frac{2\pi}{2} - 0 \right] \frac{R^4}{4} = \frac{\pi R^4}{4}$$

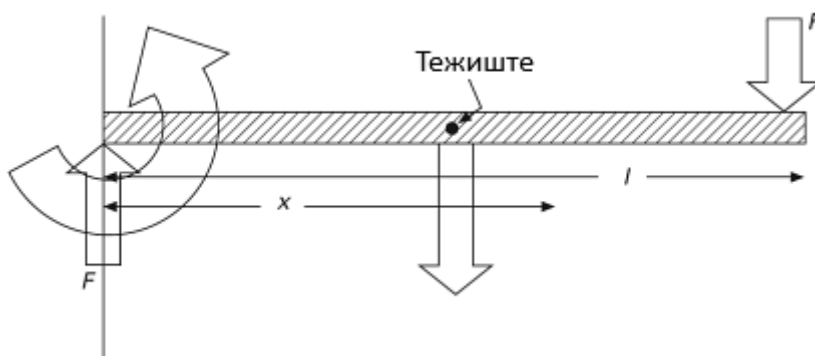
или, ако е D дијаметарот на влакното:

$$I_A = \frac{\pi D^4}{64} \quad 6.4$$

Што значи дека крутоста на цилиндер или влакно е пропорционална на дијаметарот дигнат на четврт степен.

За квантитативно да ја одредиме флексибилноста на влакното, понатаму можеме да го пресметаме тоталното свиткување на кружна хоризонтална греда, прицврстена на едниот крај и оптоварена со сила F како што е прикажано на сликата 6.3. Моментот на свиткување Fl предизвикан од силата на слободниот крај, заради реакцијата, ќе предизвика обртен момент на фиксираниот крај и тоа во спротивна насока.

Обртниот момент во било која точка долж гредата на растојание x од фиксираниот крај произлегува од равенката 6.3:



Слика 6.3. Хоризонтална греда фиксирана на едниот крај и подвргната на надолна сила на другиот крај има тенденција да се свитка

$$M(x) = \frac{E}{\rho} I_A$$

Сега да ја погледнеме сликата 6.4. Равенката на кривата која го опишува свиткувањето на гредата е дадена со:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{y''}{[1 + (y')^2]^{3/2}} \quad 6.5$$

За мала дефлексија (свиткување):

$$\frac{dy}{dx} \rightarrow 0$$

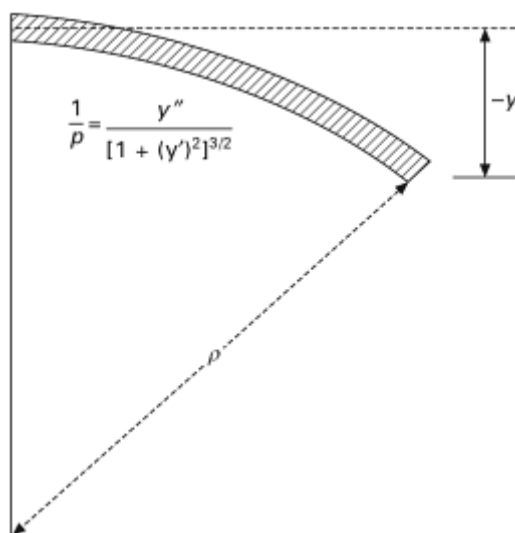
па од равенката 6.5 можеме да напишеме:

$$\frac{1}{\rho} = y''$$

Сега можеме да напишеме:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = y'' = -\frac{M(x)}{EI_A} \quad 6.6$$

Обртниот момент во точката x долж гредата е даден со рамнотежата на моментот кој е генериран од силата F со вредност Fl и спротивниот момент предизвикан од реакцијата на фиксираниот крај кој има вредност $-Fx$.



Слика 6.4. Свиткување на греда фиксирана на едниот крај

Па:

$$M(x) = -Fx + Fl$$

со замена во равенката 6.6 ќе добиеме:

$$-\frac{d^2 y}{dx^2} EI_A = M(x) = -Fx + Fl$$

со интегрирање:

$$-\frac{dy}{dx} EI_A = -\frac{Fx^2}{2} + Flx$$

плус константата, но бидејќи при $x=0$, $dy/dx=0$, константата е нула. Со уште едно интегрирање добиваме:

$$-y(x)EI_A = \left| -\frac{Fx^3}{6} + \frac{Flx^2}{2} \right|_0^l$$

плус константата, но бидејќи при $x = 0$, $y = 0$, константата е нула.

$$-y(l)EI_A = -\frac{Fl^3}{6} + \frac{Fl^3}{2} = Fl^3 \left(-\frac{1}{6} + \frac{3}{6} \right)$$

$$-y(l)EI_A = -\frac{Fl^3}{3}$$

знакот минус значи надолна дефлексија која има вредност:

$$|y| = \frac{Fl^3}{3EI_A}$$

Од равенката 6.4 тоталната дефлексија е:

$$|y| = \frac{64Fl^3}{3E\pi D^4} \quad 6.7$$

Можеме да видиме дека флексибилноста на кружна греда односно на влакно е функција од реципрочната вредност на дијаметарот дигнат на четврти степен. Јасно е, од равенката 6.7, со намалување на дијаметарот на влакното за една половина флексибилноста ќе му се зголеми 16 пати. Тоа покажува зошто многу крутите материјали во форма на фино влакно сепак се екстремно флексибилни.

§7. ПОПРЕЧЕН ПРЕСЕК И ФИНОСТ НА ВЛАКНАТА

7.1. ПОПРЕЧЕН ПРЕСЕК НА ВЛАКНАТА

Секој вид на природни влакна има карактеристичен и специфичен напречен пресек со мали варирања во склоп на истиот тип на влакно, во зависност од условите на растот, одгледувањето, потеклото и слично на изворот на влакна.

Обликот на напречниот пресек и структурата на површината на синтетичките т.е. произведените влакна , главно, зависат од видот на полимерот, постапката и условите на формирање на влакната.

Кај постапката на добивање на влакната од растоп обликот на напречниот пресек на филаментите е адекватен на обликот од отворите од млазницата (спинеретот) низ кои се истиснува стопениот полимер во фазата на формирање



Слика 7.1. Попречен пресек на текстилни влакна

на влакното. Тоа е затоа што при овој процес не доаѓа до изразено собирање на новоформираната нишка по напречниот пресек, а од причина што густините на растопот и втврднатата нишка се многу блиски. Тој е главно кружен, но со примена на млазници со профилиран облик на отворите, се добиваат влакна со профилиран пресек - свездест, повеќеаголен и други.

На сликата 7.1 претставени се облиците на напречните пресеци на текстилните влакна како и типот на влакното за кој е карактеристичен одреден облик. Кај сувата постапка на добивање од раствор, во обликувањето на напречниот пресек влијае концентрацијата на појдовниот полимер во растворот и концентрацијата на која се сведува во втврднатиот новоформиран филамент.

Доколку е концентрацијата на полимерниот раствор помала, напречниот пресек многу повеќе ќе отстапува од кружен.

Кај влакната добиени од раствор по мокра постапка обликот на напречниот пресек во голем дел е зависен од брзината на таложење на полимерот и брзината на дифузивните процеси. Ако е брзината на таложењето помала од брзината на дифузивните процеси, пресекот ќе биде скоро кружен.

Обликот на напречниот пресек влијае врз многу својства на влакното и текстилните материјали. Така на пример, со примена на профилирани влакна се постигнува природен сјај, пријатен допир, еластичност а се смалува лизгањето на котелците и филаментите во нив, како и пилингот. Влакна со кружен напречен пресек имаат пријатен допир но имаат и послаба покривна способност од тие со плоснат (неправилан). Волната, на пример, има кружен напречен пресек и таа е со многу поудобно чувство отколку памукот кој има плоснат пресек.

7.2. ФИНОСТ НА ВЛАКНАТА

Финоста е една од многу значајните својства на влакната. Таа има бројни ефекти врз својствата на предивото, а со тоа и врз својствата на текстилните производи.. *Од пофини влакна може да се испреди пофино и многу порамномерно предиво.* Финоста на влакната е многу ценето својство кое овозможува облеката да биде направена со мек и пријатен допир. Пофините природни влакна како што се памукот, свилата, волната, кашмирот и други се поскапи и се користат за изработка на поквалитетна и поскапа облека.

Затоа, од комерцијална гледна точка, многу е значајно да се определи финоста на природните влакна, бидејќи е значаен фактор за нивниот квалитет и цена.



*Отстапувањето на напречниот пресек на влакната од кружен облик е причина финоста да не се претставува преку пречникот на влакната (изразен во mm) туку со т.н. **титар** или **линиска густина** или **должинска маса***

Како што можеме да видиме од сликата 7.1, со оглед дека немаат правилен кружен попречен пресек, влакната имаат, во различни насоки, различен дијаметар односно безброј дијаметри. Финоста на влакната, според тоа, не можеме да ја изразиме со дијаметар како што е вообичаено за цилиндрични/жичени материјали. Затоа, како мерка се зема должинската маса или линиската густина или титарот. Во меѓународниот систем на единици линиската густина се изразува во единицата **tex**;

tex-от претставува маса во грамови на 1000 m долго влакно.

$$tex = \frac{g}{1000m} = \frac{g}{1km}$$

Многу често финоста на влакната се мери во **decitex** кој се означува со **dtex**

dtex-от претставува маса во грамови на 10000 m долго влакно

$$dtex = \frac{g}{10000m} = \frac{g}{10km}$$

од тука следи дека :

$$1tex = 10dtex$$

Друга единица која, главно, се користи во Велика Британија и САД е **denier (den)**

Denier претставува маса во грамови на 9000 m долго влакно.

$$den = \frac{g}{9000m} = \frac{g}{9km}$$

од тука следи:

$$1tex = 9den$$

Трета мерка за финоста на предиво е **метарскиот број (Nm)**.

метарскиот број (Nm) претставува должина во метри на еден грам влакно

$$Nm = \frac{m}{1g}$$

од тука следи:

$$tex = \frac{1000}{Nm}$$

Во табелата 7.1 се дадени конверзивните фактори за овие три единици.

Табела 7.1. Конверзија на единиците за финост

Конверзија	<i>tex</i>	<i>decitex</i> (<i>dtex</i>)	<i>denier</i> (<i>den</i>)	Метарски број (Nm)
<i>tex</i>		$10 \times tex$	$9 \times tex$	$\frac{1000}{tex}$
<i>decitex</i> (<i>dtex</i>)	$\frac{dtex}{10}$		$0,9 \times dtex$	$\frac{10000}{dtex}$
<i>denier</i> (<i>den</i>)	$\frac{den}{9}$	$\frac{den}{0,9}$		$\frac{9000}{den}$
Метарски број (Nm)	$\frac{1000}{Nm}$	$\frac{10000}{Nm}$	$\frac{9000}{Nm}$	

Со воведувањето на линеарната густина како мерка за финоста на влакната се решава проблемот со неможност да се одреди нивната дебелина. Друга предност на оваа мерка е што ја елиминира неуниформноста во дебелината на влакната. Имено, и кога би можеле да ја одредиме дебелината на еден примерок од (континуирано) влакно, тоа не значи дека е таа константна (најчесто не е) по целата должина на влакното.

Доколку влакното би имало правилен кружен пресек (што е поверојатно кај синтетичките влакна извлечени од растоп) тогаш финоста односно дијаметарот на влакното може да се пресмета во см, ако се знае линеарната густина, од следнава формула:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot dtex}{\pi \rho}}$$

каде: d = дијаметарот на влакното во см, ρ = густината на материјалот во g/cm^3 .

Ако имаме нишка, финоста на филаментите се изразува со дробка кај која броителот ја изразува вкупната финост во $dtex$ а именителот бројот на поединечните филамент

Означувањето на континуираните и сечканите влакна е илустрирано на примерите долу:

Континуирано предивоо

44 dtex f10
└─ Број на филаменти во предивото = 10
└─ 10000 метри тежат 44 g

Сечкани влакна

1.7 dtex / 40
└─ Должина на сечење = 40 mm
└─ 10000 метри тежат 1.7 g

Финоста на природните влакна е определена со биолошкиот вид, генетските чинители и условите на растење, додека финоста на хемиските влакна може да се добива во многу поширок опсег во зависност од намената (за замена на свилата 1,2 - 1,3 dtex; на памукот 1.3 - 2.7 dtex; на волната 2.7 - 6.6 dtex). Финоста влијае и врз естетските и физиолошките својства на производите. како потврда за ова се, во поново време, многу актуелните микровлакна и нановлакна . Микровлакната се одликуваат со финост 0.4-0.8 dtex (за споредба најфиното свилено влакно има 1.3-1.5 dtex), додека нановлакната се со уште поголема финост. Предностите на текстилните материјали изработени од микровлакна се:

- ◆ голема површинска густина
- ◆ фина капиларност
- ◆ мек и пријатен допир
- ◆ убав изглед
- ◆ лесни (10-150 g/m²)
- ◆ заштита од ветар поради фините микропори
- ◆ потта можат да ја одведуваат а дожд да не пропуштаат

ГЛАВА II. ДЕФИНИЦИЈА НА МЕХАНИЧКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ И НИВНО ТЕСТИРАЊЕ

§8. ВОВЕД

Механички карактеристики на текстилните влакна, нивното однесување кога се подвргнати под дејство на сила и деформација, се веројатно, технички, нивните најважни особини. Овие карактеристики имаат свое влијание врз однесувањето на влакната при нивното процесирање како и врз перформансите на финалниот производ. Особините на текстилните структури како што се предивата или ткаенините зависат од комплексните содејства од распоредот на влакната и нивните особини. Иако познавањето на особините на влакната е есенцијално за разбирање на особините на предивата и ткаенините, тоа само за себе не е доволно. Што значи дека се јавуваат ефекти кои се карактеристични за структурниот распоред на влакната од една страна, а од друга страна, особините на влакната можат да се променат заради присуството на соседни влакна. Меѓутоа, особините на влакната се тие кои имаат пресудно влијание врз крајните особини на предивата или ткаенините. На пример (ако го изземеме позитивниот ефектот од меѓусебното влијание на различните влакна) јакоста на предивото не може да биде поголема од сумата на јакостите на поединечните влакна кои го формираат предивото.



Слика 8.1. При затегањето на влакната внатрешните меѓумолукаларни сили се спротивставуваат на надворешните сили кои го растегнуваат влакното

Заради нивниот облик, најпроучувани, а во многу апликации, најважни механички карактеристики на влакната се нивните особини на затегање т.е. нивното однесување кога се подвргнати на дејство на сили и деформации долж оската на влакната, слика 8.1. Од нив, наједноставни за експериментално проучување се издолжувањето и кинењето, под дејство на постепено растечко оптоварување.

§9. ФАКТОРИ КОИ ВЛИЈААТ ВРЗ РЕЗУЛТАТИТЕ ОД ЕКСПЕРИМЕНТИТЕ НА ЗАТЕГАЊЕ

9.1. МАТЕРИЈАЛИ И НИВНИ СОСТОЈБИ

Однесувањето на материјалите зависи од природата и распоредот на молекулите од кои се изградени. Природата и распоредот на молекулите не само што варираат меѓу разните видови на влакна но тие можат да варираат и кај примерок од исти влакна, а исто така можат да варираат и од една состојба до друга. Овие, последно спомнати ефекти, треба да се земат во предвид кога се разгледуваат резултатите од тестот. Затоа, различното однесување на индивидуалните влакна треба да се истражува од повеќе аспекти. Во некои случаи варирањето на резултатите може да биде поважно од самата нивна средна вредност, таков случај би бил, ако сакаме да ја дознаеме веројатноста дали јакоста на влакната би паднала под одредена критична вредност. Состојбата на материјалите зависи од нивната предисторија, влажноста и температурата. Под предисторија, во овој контекст, подразбираме колку, како, во кои услови биле претходно оптоварувани и/или третирани влакната. Сето тоа треба да биде специфицирано ако сакаме резултатите од тестот да бидат веродостојни и корисни.

9.2. РАСПОРЕД И ДИМЕНЗИИ НА ПРИМЕРОКОТ

Димензиите на примерокот, се разбира, имаат директен ефект врз резултатите на тестот. Под „примерок“ подразбираме дел од материјалот кој е земен за тестирање и врз база на кој судиме за особините на целиот материјалот. На пример, ако останатите фактори се константни, големината на оптоварувањето (силата) при која се кине влакното ќе се зголемува пропорционално со зголемувањето на површината на неговиот попречен пресек, а неговото издолжување ќе се зголемува пропорционално со неговата должина. Кај варијабилните материјали, постои голема шанса од појава на слаба точка (место) на поголема должина отколку на помала и бидејќи влакното се кине во својата најслаба точка, средната сила на прекин кај поголемите должини ќе биде помала отколку кај помалите. Од овие причини должината која се тестира треба да биде назначена.

9.3. ПРИРОДАТА И ТАЈМИНГОТ НА ТЕСТОТ

Издолжувањето на текстилните влакна не е еднозначна функција од применетото оптоварување бидејќи зависи од долготрајноста на дејството на оптоварувањето и од долготрајноста на претходните оптоварувања. Ако влакното се подвргне на дејство на константно оптоварување (сила), по почетното моментално издолжување, тоа ќе продолжи да се издолжува

уште извесно време и ако е оптоварувањето доволно големо, тоа конечно ќе се скине. Неопходното оптоварување за кинење на влакното ќе варира во зависност од брзината на тестирањето на тој начин што кај брзите тестирања потребно е поголемо оптоварување за прекин отколку кај бавните. На тој начин, резултатите од експериментот ќе зависат од времетраењето и начинот на кој се врши оптоварувањето без разлика дали тестирањето се врши при константно оптоварување или константна брзина на издолжување.

Треба да се напоми дека во следново постои лимитирачки фактор во веродостојноста на резултатите од тестот. При употребата, текстилните влакна се подвргнати на комплексни, варијабилни и веројатно непознати предистории на оптоварување. Но, за процената на практичното однесување на влакната треба да се вложат напори за да се предвиди кои би биле резултатите при вистинските услови на употреба т.е. експлоатација, врз база на експерименталните резултати кои се добиени при други услови, различни од експлоатационите. Односно, експерименталните резултати да се „конвертираат“ во практични сознанија. Тоа најдобро се врши ако се експерименталните услови што е можно поедноставни.

§10. ПРЕЗЕНТИРАЊЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ: ВЕЛИЧИНИ И ЕДИНИЦИ

10.1. КРИВИ СИЛА-ИЗДОЛЖУВАЊЕ И НАПРЕГАЊЕ-ДЕФОРМАЦИЈА

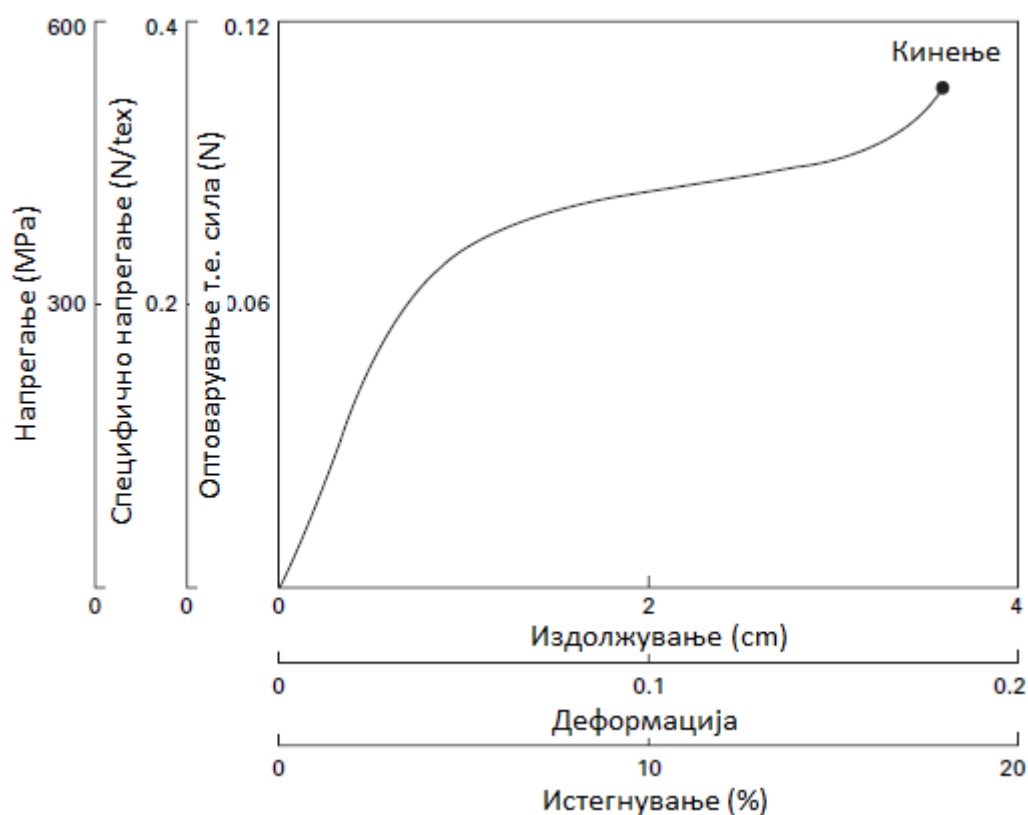
Однесувањето на едно единствено влакно подвргнато на дејство на постојано растечка сила може комплетно да биде прикажано преку сила - издолжување крива кај која крајна точка е прекилот на влакното, како што е прикажано на слика 10.1. Силата може да се мери во њутни, а издолжувањето во сантиметри, но ако сакаме да споредиме различни типови на влакна, независно од влијанието на нивните димензии, треба да употребиме други величини.

10.1.1. Напрегање и специфично напрегање

Во повеќето физички и технички апликации оптоварувањето (силата) е заменета со напрегање, кое го дефинираме како:

$$\text{Напрегање} = \frac{\text{Сила}}{\text{Површина на попречен пресек}}$$

$$f = \frac{F}{A}$$



Слика 10.1. Хипотетичка сила - издолжување крива за примерок од влакно долго 20 cm и 0,3 tex, со густина од 1,5 g/cm³

Во меѓународниот систем на единици (SI) единица за напрегање е њутн врз квадратен метар (**N/m²**) која се нарекува паскал (**Pa**). Попогодни единици за јакоста и модулот се мегапаскал (**MPa**) или гигапаскал (**GPa**), постара единица е kg/mm².

Меѓутоа, во текстилната технологија ние сме почесто заинтересирани за материјалите од аспект на нивната тежина отколку од аспект на нивната зафатнина. Од друга страна, површината на попречниот пресек на предивата и ткаенините не може точно да се дефинира бидејќи меѓу влакната има празен простор. Кај единичните влакна точно се знае која е површината но заради нивниот неправилен облик (не е правилен круг) не може прецизно директно да се измери, но затоа може индиректно, преку нивната маса и густина. Основна единица за финоста е линеарната густина (маса на единица должина). Затоа, многу погодно е да се користат величини базирани врз масата, на пример, со употреба на линеарната густина. Заради тоа, изведена величина е специфичното напрегање кое е дефинирано како:

$$\text{Специфично напрегање} = \frac{\text{Сила}}{\text{Линеарна густина}}$$

$$\sigma = \frac{F}{tex}$$

Соодветна меѓународна мерна единица за специфично напрегање би била $N \cdot m/kg$ (ако е F во N , а tex во kg/m). Меѓутоа, за да биде во склад со мерната единица за линеарна густина, tex , подобро е да се користи њутн врз tex (N/tex). Оваа единица е за 10^6 пати поголема од $N \cdot m/kg$. За помали напрегања се користи единицата милињутн врз текс, mN/tex или сантињутн врз децитекс, $cN/dtex$.

Односот и дефиницијата на погоре споменатите единици е даден во табелата 10.1

Табела 10.1. Дефиниција и однос на мерните единици

Величина	Дефиниција	Единица	Однос
tex	тежина во грамови на 1000 m долго влакно/предиво	m/l маса/должина	$1tex = 10dtex$
dtex	тежина во грамови на 10000 m долго влакно/предиво	m/l маса/должина	$1 dtex = 0,1 tex$ $= 10^{-1} tex$
њутн	сила или оптоварување	N	$1 N = 100 cN$ $= 10^2 cN$
сантињутни	сила или оптоварување	cN	$1 cN = 0,01 N$ $= 10^{-2} N$
милињутни	сила или оптоварување	mN	$1 mN = 0,1 cN$ $= 0,001 N = 10^{-3} N$
паскал	Сила што делува на единица површина	N/m^2	$1 Pa = 10^6 MPa$ $= 10^9 GPa$

:

Ако ги изедначиме равенките за напрегање и специфично напрегање во однос на силата, F , ќе добиеме:

$$fA = \sigma tex \Rightarrow f = \sigma \frac{tex}{A} = \sigma \frac{\frac{m}{l}}{A} = \sigma \frac{m}{Al} = \sigma \frac{m}{V}$$

Односот m/V ни претставува густина и во склад со избраните мерни единици ја имаме следнава релација меѓу напрегањето, f , специфичното напрегање, σ и густината, ρ :

$$f = \sigma \rho$$

Истава релација важи ако f се изрази во GPa, σ во N/tex а ρ во g/cm³. Кога инженерите кои се навикнати да работат со конвенционално напрегање сакаат да преминат на напрегање базирано на масата често размислуваат за специфичното напрегање како за f/ρ и користат единица како што е GPa/(g/cm³) која е еднаква на N/tex.

Така на пример, во литература или во брошурите од производителите на влакна често пати може да се сретнат податоци, за јакоста и модулот, кои се дадени во единиците MPa/(g/cm³) и GPa/(g/cm³), соодветно.

Разликата меѓу напрегањето и специфичното напрегање станува значајна само тогаш кога сакаме да споредиме материјали со различна густина, на пример свила и најлон, а особено органски и неоргански високперформансни влакна. Постојат и други сродни величини. Специфичното напрегање димензионо е еднакво на енергијата по единица маса:

$$\sigma = \frac{F}{tex} = \frac{F}{\frac{m}{l}} = \frac{Fl}{m} = \frac{W}{m} = \left[\frac{J}{kg} \right] = \left[\frac{kJ}{g} \right]$$

Производот од силата и растојанието т.е. поместувањето ($F \cdot l = W$) претставува работа, W , која ја мериме во џули (J).

Оваа единица е попогодна за одредени апликации. N/tex е исто што и kJ/g. Друга единица, која често се користи како мерка за јакоста е должината на кинење во километри или поточно во километри-сила. Тоа е должината на кинење на материјалот под дејство на сопствената тежина, како што е илустрирано на сликата 10.2 за различни технички влакна.

Толкување на графикот од аспект на силата

За подобро да ги сфатиме значењето на горните единици ќе ги протолкуваме вредностите на ордината од графикот на слика 10.1. Како референца ќе ја земеме вредноста на силата во средината на оската која изнесува 0,06 N. Како што можеме да видиме на оваа сила одговара специфично напрегање од 0,2 N/tex и напрегање од 300 MPa.

Како се добиени овие вредности ?

Вредноста за **силата**, 0,06 N, е добиена експериментално т.е. од тестот.

Во описот на сликата ни е дадена линеарната густина, која изнесува 0,3 tex. Па **специфичното напрегање** ќе биде:

$$\text{Специфично напрегање} = \frac{0,06 \text{ N}}{0,3 \text{ tex}} = 0,2 \frac{\text{N}}{\text{tex}}$$



Слика 10.2. Илустрација на должината на кинење на влакната под дејство на сопствената тежина (km)

За да го определиме **напрегањето** потребно е да ја знаеме површината на попречниот пресек на влакното. За тоа ќе ја искористиме густината на влакното за која ни е дадена вредност од $1,5 \text{ g/cm}^3$. По дефиниција, густината претставува маса на единица волумен, а од геометрија е познато дека волуменот на телата

е еднаков на површината на базата по висината (должината) на телото, т.е. $V = A \cdot L$

Сега ги имаме сите потребни податоци за да ја пресметаме површината на попречниот пресек од влакното, знаејќи ја дефиницијата за линеарната густина изразена во *tex*. Да се потсетиме, *tex*-от претставуваше маса во грамови на 1000 метри долго влакно. Според тоа, можеме да напишеме:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{A \cdot L}$$

ако замениме во оваа равенка ќе добиеме:

$$1,5 \frac{g}{cm^3} = \frac{0,3 g}{A \cdot (1000 \cdot 100) cm}$$

$$A = 2 \cdot 10^{-10} m^2$$

$$Напрегање = \frac{0,06 N}{2 \cdot 10^{-10} m^2} = 3 \cdot 10^8 Pa = 300 MPa$$

10.1.2. Деформација

За да се земе во предвид должината на примерокот, издолжувањето се изразува во апсолутни единици (на пример mm и cm) или како деформација на затегање односно процентно растегнување:

$$Деформација на затегање = \frac{издолжување}{почетна должина} = \frac{\Delta L}{L}$$

$$Истегнување = \frac{издолжување}{почетна должина} \cdot 100\% = \frac{\Delta L}{L} \cdot 100\%$$

$$Истегнување = Деформација \cdot 100\%$$

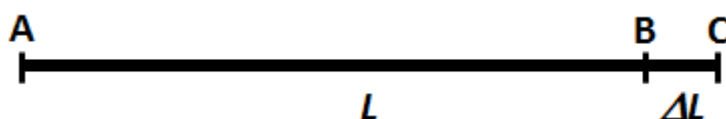
Кривата сила – издолжување преминува во крива напрегање – деформација со промена на мерните единици, без да се промени обликот на кривата, како што е прикажано на сликата 10.1.

Иако напрегање – истегнување кривите потполно ги изразуваат резултатите од ваков тип на тест има некои карактеристики на кривата кои е корисно посебно да

се дефинираат. Тие се однесуваат или на обликот на кривата или на позицијата на нејзината крајна точка т.е. кинењето.

Толкување на графикот од аспект на издолжувањето

За подобро да ги сфатиме значењето на издолжувањето ќе ги протолкуваме вредностите на апсцисата од графикот на слика 10.1. Како референца ќе ја земеме вредноста на издолжувањето во средината на оската која изнесува 2 cm. Како што можеме да видиме на ова издолжување одговара деформација од 0,1 и истегнување од 10 %.



Слика 10.3. Издолжување, деформација и истегнување на влакното

Како се добиени овие вредности ?

Вредноста на **издолжувањето**, $BC = \Delta L = 2 \text{ cm}$, е добиена експериментално, од самиот тест.

Почетната должина на влакното, $AB = L$ ни е дадено дека е 20 cm, слика 10.3.

Кога влакното се издолжило неговата должина станала 22 cm (20 + 2), што значи дека разликата меѓу моменталната и почетната должина $\Delta L = 2 \text{ cm}$ (22 – 2) е измереното издолжување.

Деформацијата е фракциона (од почетната должина) вредност и се изразува како фракција (дропка) од издолжувањето и почетната должина и е бездимензионална величина:

$$\text{Деформација} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{2 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} = 0,1$$

$$\text{Истегнување} = \text{Деформација} \cdot 100\% = 0,1 \cdot 100\% = 10\%$$

10.2. ЈАКОСТ

Прво ќе ја разгледаме јакоста, која е мерка за постојаната сила која е неопходна да го скине влакното а експериментално се одредува од максималното оптоварување при тестот на затегање. Според меѓународниот систем на единици (SI) таа се мери во њутни (N, newton). За индивидуално влакно јакоста ја дава прекидното оптоварување. За споредба на различни влакна се користи вредноста на специфичното напрегање при прекин и се нарекува **специфична јакост** или **жилавост** (tenacity). Како што е порано спомнато и **прекидната**

должина (должината при прекин) може исто така да се користи како мерка за споредба. За споредба на јакоста во однос на површината на попречниот пресек, напрегањето при прекин е наречено *крајно напрегање на затегање* (*ultimate tensile stress*).

10.3. ИЗДОЛЖУВАЊЕ ПРИ ПРЕКИН

Издолжувањето кое е неопходно за да се скине влакното е корисна величина. Тоа може да биде изразено, како што видовме од горниот пример, во апсолутна вредност, како однос и процентно зголемување на должината и се нарекува *прекидно истегнување* или *истегнување при прекин* (во контекст на овој текст, „истегнување“, „растегнување“ и „издолжување“ се синоними).

10.4. РАБОТА ПРИ ПРЕКИН

За индивидуално влакно, работата за прекин, која понекогаш ја нарекуваме *жилавост* (*toughness*) е дефинирана како енергија неопходна за прекин на влакното. Единица за работа т.е. енергија е џул (J, *joule*). Ако разгледаме влакно оптоварено со сила F на кое му се зголемува должината за dl , добиваме:

$$\text{извршена работа} = \text{сила} \cdot \text{поместување} = F \cdot dl$$

$$\text{вкупно извршена работа за кинење на влакното} =$$

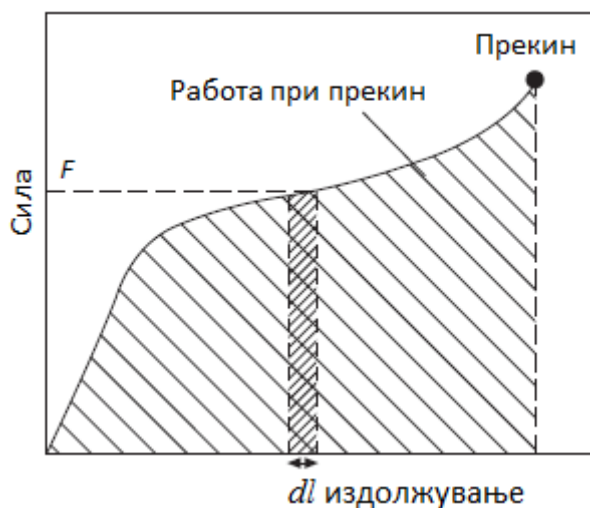
$$\text{работа при прекин} = \int_0^{\text{прекин}} F \cdot dl$$



Англиските термини „tenacity“ и „toughness“ не се синоними туку меѓу нив постои дистинктивна техничка разлика како што може да се види од горните дефиниции. На македонски, двата термини се преведуваат со „жилавост“ во недостаток на соодветна терминологија. Многу почесто употребуван технички термин е „tenacity“, па секаде во продолжение на овој текст, каде што ќе го сретнете терминот „жилавост“ имајте на знаење дека се однесува на специфично напрегање

Извршената работа при прекин е еднаква на површината под кривата сила – издолжување, како што е претставено на слика 10.4. со сенчената површина. При константност на останатите фактори, работата при прекин на влакната ќе биде пропорционална на нивната линеарна густина (заради ефектот на потребната сила) и на нивната должина (заради ефектот на издолжување). За споредба на различни материјали, можеме да го користиме поимот *специфична работа при прекин*, која е дефинирана како:

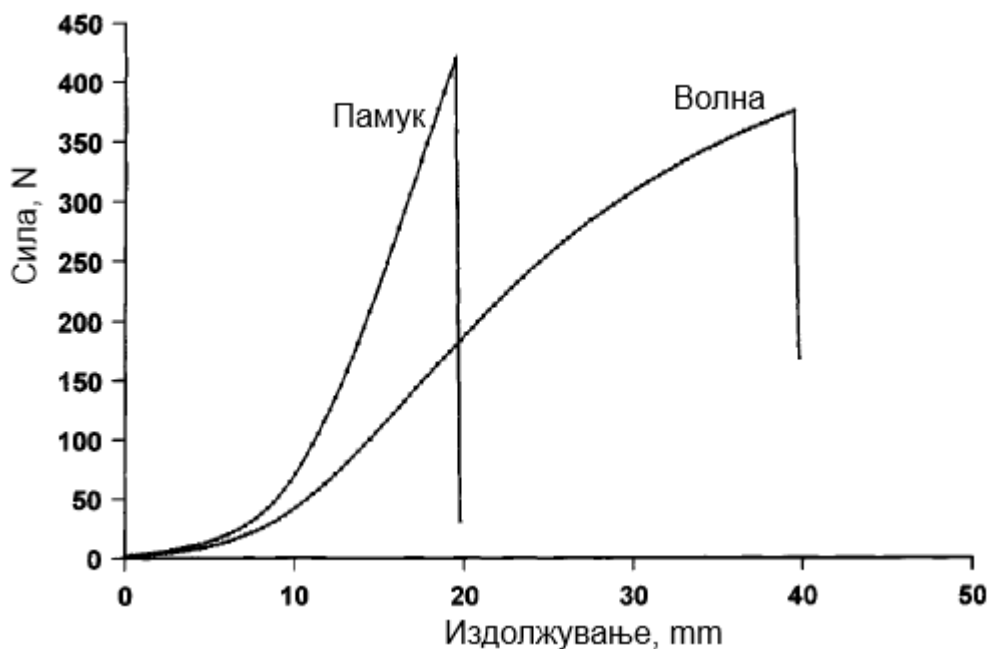
$$\text{Специфична работа при прекин} = \frac{\text{работа при прекин}}{\text{линеарна густина} \times \text{почетна должина}}$$



Слика 10.4. Работа при прекин

Специфичната работа при прекин може да биде изразена во N/tex или kJ/g , и е дадена со површината под кривата специфично напрегање – издолжување (или деформација). Таа претставува работа во џули која е потребна за кинење на филамент од 1 tex со должина од 1m. Вкупната работа за прекин на било кој примерок е пропорционална на неговата маса, без разлика на вистинските вредности на линеарната густина и должината кои ја дефинираат масата.

Со други зборови, работата за прекин на материјалот е пропорционална на површината од неговиот попречен пресек, или поприкладно за влакна и предиво, од нивната линеарна густина, бидејќи оптоварувањето при прекин е пропорционално на линеарната густина. Работата при прекин, исто така, е пропорционална на оригиналната должина на материјалот бидејќи издолжувањето на материјалот зависи од почетната должина. Затоа за споредба на материјалите неопходно е да се користи специфичната работа при прекин. За компаративни цели, кога при тестовите се користи стандардна (иста) должина, почетната должина може да се изостави од горната релација. На сликата 10.5. се прикажани кривите сила – издолжување на две ткаенини со слична јакост на затегање. Памучната ткаенина има незнатно поголема јакост но работа при прекин од 2,36 J, додека волнената ткаенина има работа при прекин од 8,02J. Оваа разлика, според дефиницијата за работа, е пропорционална на разликата во површините под двете криви.



Слика 10.5. Две ткаенини со различна работа при прекин

10.5. СПОРЕДБА НА МЕТОДИТЕ ЗА СПЕЦИФИЦИРАЊЕ НА ПРЕКИНОТ

Досега објаснивме три начини за специфицирање на прекилот или отпорноста на кинење: преку силата, издолжувањето и енергија, кои се неопходни за да дојде до прекин. Кога ќе се случи прекин тоа значи дека прекидната вредност на секој од овие фактори, во дадените услови на тестирање, е постигната. Но обично прекидната вредност само на еден од овие три фактори е пресудна за прекилот додека другите две (вредности) следат автоматски. Корисно е да ги споредиме трите величини од таа гледна точка.

Јакоста или специфичната јакост претставуваат мерка за отпорноста спрема дејството на постојана сила. Тоа значи дека тие се вистинските величини кои треба да ги разгледуваме кога примерокот е подвргнат на константно влечење како што е на пример јажето со кое полека се подига тежок товар.

Издолжувањето при прекин е мерка за отпорноста на материјалот спрема издолжување. Значи, издолжувањето е важно кога примерокот е подвргнат на истегнување, на пример, јаката на облеката кога се влечи преку глава или истегнувањето на основата од ткаенината при ткаење.

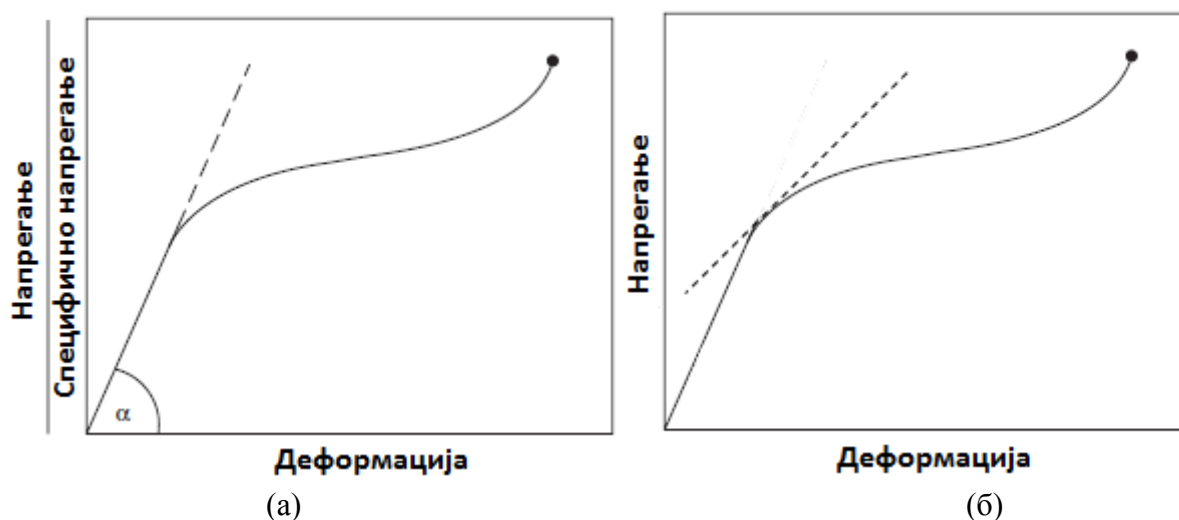
Работата при прекин, претставува енергија која е потребна да го скине влакното, и е мерка за способноста на материјалот да издржи моментален енергетски шок. Кога масата m , која е врзана за текстилниот примерок, падне од висина h , таа добива кинетичка енергија која е еднаква на mgh , и ако оваа енергија е поголема од работата при прекин, доаѓа до кинење, додека ако е помала, примерокот ќе го издржи шокот. Тоа значи дека работата при прекин е првата (вистинската) величина која треба да се земе на разгледување во случаи како што се отворањето на падобран, паѓање на планинар кој е врзан со јаже,

кај сигурносните ремени во автомобилите и во сите други прилики кога ненадејните шокови се склони да предизвикаат кинење. Треба да се напомени дека значајна карактеристика при примената на работата при прекин како мерка, е дека шокот содржи одредено количество на енергија; фактот дека тој се случува многу брзо не е многу релевантен, иако брзината на оптоварувањето има свое влијание врз вредноста на работата при прекин (како што ќе видиме во понатамошниот текст)

Кога се споредуваат материјали, со цел да се види кој има најмала шанса да се скине, важно е да се разгледаат условите при кои треба да се случи прекилот и дури потоа да се одлучи која величина е најприкладна да се употреби. На пример, бескорисно е ако планинарското јаже има висока специфична јакост ако работата при прекин му е мала. Во пракса може да има многу покомплицирани услови на затегање, на пример, може да се случи моментален шок врз примерок кој веќе носи постојан товар.

10.6. ПОЧЕТЕН МОДУЛ И ДРУГИ МОДУЛИ

Прва од неколкуте величини поврзани со обликот на кривата напрегање – деформација при затегање е *почетниот* или *уницијалниот модул*, кој е еднаков на нагибот на кривата напрегање – деформација во самиот почеток на кривата. Овој модул уште го викаме *модул на еластичност* или *Јангов модул*. Овој нагиб обично останува константен во првиот дел од кривата, како што е прикажано на сликата 10.6а. Модулот се мери во исти единици како напрегањето или специфичното напрегање. Треба да се спомне дека во пресметките секогаш се користи фракциона (дробна) деформација, иако можеби податоците се дадени во процентно истегнување.



Слика 10.6. (а) Почетен модул = $\tan \alpha$; (б) Тангенциален модул

Од сликата 10.6а можеме да заклучиме дека ако почетниот модул е еднаков на тангенсот од аголот α ; тогаш тој ќе биде:

$$\text{Модул на еластичност} = \frac{\text{Напрегање}}{\text{Деформација}} = \frac{F / A}{\Delta L / L}$$

Модулот на еластичност има исти единици како напрегањето со оглед на тоа дека деформацијата е бездимензионална величина. Од сликата 10.6а можеме да го дефинираме и специфичниот модул на еластичност од релацијата:

$$\text{Специфичен модул на еластичност} = \frac{\text{Специфично напрегање}}{\text{Деформација}} = \frac{F / \text{tex}}{\Delta L / L}$$

Специфичниот модул на еластичност има исти димензии како специфичното напрегање пр. N/tex .

Ако се:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad ; \quad \delta = \frac{\Delta L}{L}$$

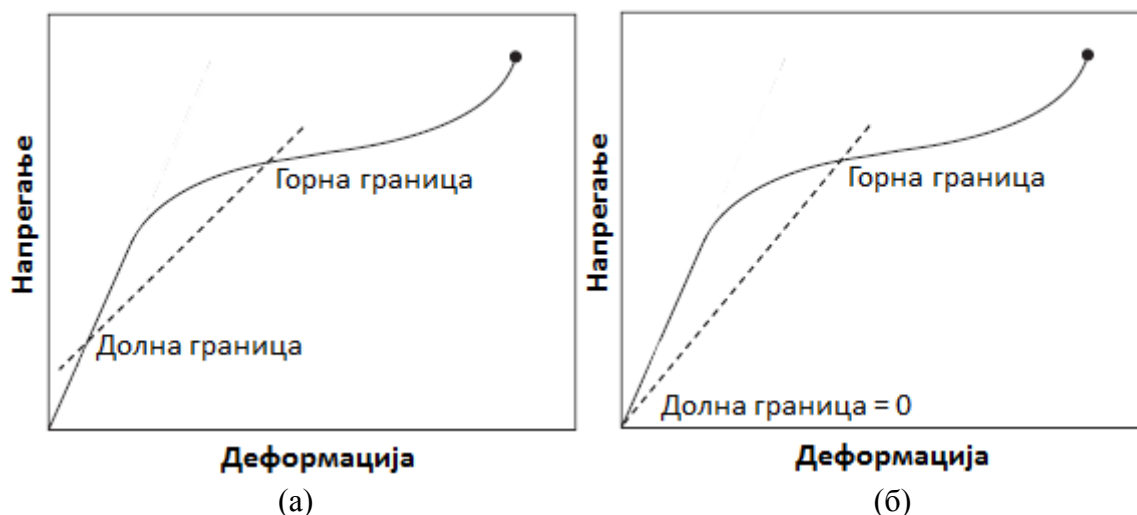
Математички, модулот на еластичност (E_y) можеме да го презентираме на следниов начин:

$$E_y = \frac{\sigma}{\delta}$$

Супскриптот „y“ значи Young (Јангов модул).

Да спомнеме уште некои други модули:

Тангенцијалниот модул преставува тангента на права линија во било која точка на кривата напрегање – деформација, слика 10.6б. Тој е релевантен кога материјалите се подвргнати на циклично оптоварување. Графиците на тангенцијалниот модул наспроти деформацијата се уште еден корисен начин за прикажување на промените во растегливоста кога влакната континуирано се деформираат т.е. растегнуваат.



Слика 10.7. Тетивен (а) и секантен (б) модул

Тетивниот (Chord) модул претставува нагиб на права линија која е повлечена меѓу две одредени точки на кривата, слика 10.7а. Не е потребно да се знае обликот на кривата меѓу двете точки бидејќи тој може да се пресмета од разликата во напрегањето меѓу две дадени вредности за деформацијата или преку разликата во деформацијата меѓу две дадени вредности за напрегањето.

Секантниот (Secant) модул претставува нагиб на права линија повлечена меѓу нулата и одредена точка на кривата, слика 10.7б. Се мери едноставно како вредност на деформацијата при дадено напрегање или алтернативно, како вредност на напрегањето при дадена деформација.

Јанговиот модул, иако е наречен модул на еластичност, претставува мерка за крутоста на материјалот и често се нарекува *коефициент на крутост*, додека неговата реципрочната вредност се нарекува *коефициент на еластичност*. Се работи само термиолошка разлика иако технички овој модул е јасно дефиниран.

10.7. ФАКТОР НА РАБОТА

Ако влакната се однесуваат според Хуковиот закон, кривата оптоварување – издолжување ќе биде права линија, а работата за прекин, во ваков идеален случај*, ќе биде дадена со:

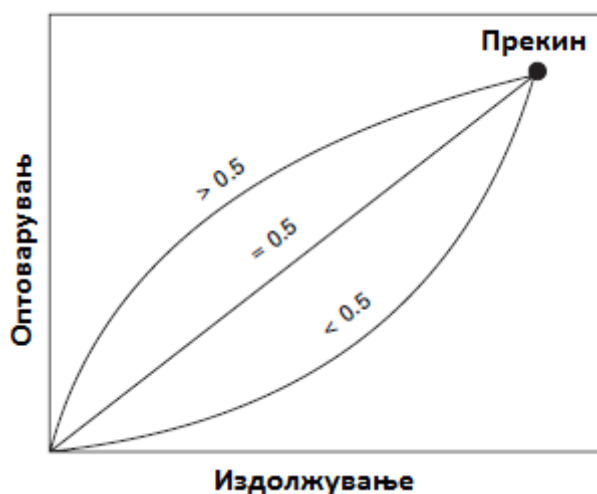
$$\text{Работа при прекин} = \frac{1}{2} (\text{оптоварување при прекин}) \times (\text{издолжување при прекин})$$

*Ова е идеален случај затоа што работата при прекин е дадена како површина под кривата која е земена дека е идеален правоаголен триаголник. Од геометрија знаеме дека површината на правоаголен триаголник е $P = \frac{1}{2} (a \times b)$; а и b се страните на триаголникот.

Пригодно е да се дефинира величина, *фактор на работа*, која ќе зависи од отстапувањето од идеалната состојба.

$$\text{Фактор на работа} = \frac{\text{работа при прекин}}{(\text{оптоварување при прекин}) \times (\text{издолжување при прекин})}$$

Во идеален случај, факторот на работа ќе биде $\frac{1}{2}$. Ако оптоварување – издолжување кривата лежи, главно, над правата линија, факторот на работа ќе биде $> \frac{1}{2}$; ако лежи под – ќе биде $< \frac{1}{2}$. Ова е илустрирано на сликата 10.8.



Слика 10.8. Фактор на работа

За материјалите кои се кинат во иста точка, работата при прекин ќе биде поголема колку е поголем факторот на работа. Бидејќи факторот на работа не се менува многу кај различни примероци од ист материјал, вредностите кои се дадени во продолжение, во табела 10.2, можат да се употребат за да се одреди работата при прекин преку мерење на прекидното оптоварување и издолжување.

10.8. ТОЧКА НА ПОПУШТАЊЕ

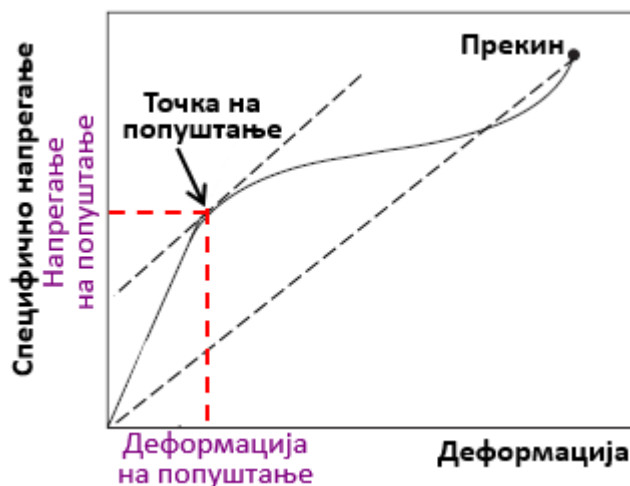
Во зависност од типот на материјалот што се тестира, кривата често содржи точка каде се забележува значително опаѓање на нејзиниот нагиб. Оваа точка е позната како *точка на попуштање (yield point)*. На местото на оваа точка се случуваат значајни промени на релација напрегање – издолжување. Пред точката на попуштање истегнувањето на материјалот се смета за еластично, што значи примерокот ќе се врати на оригиналната должина кога ќе престане дејството на силата. Над точката, кај повеќето влакна, дел од истегнувањето е

неповратно, што значи, примерокот задржува дел од истегнувањето по престанокот на дејството на силата. Ова е премногу симплифицирано

Табела 10.2. Особини на затегање на влакна при 65 % релативна влажност, 20 °C, 1 cm тест должина, брзина на оптоварување 0,15 mN/tex·s

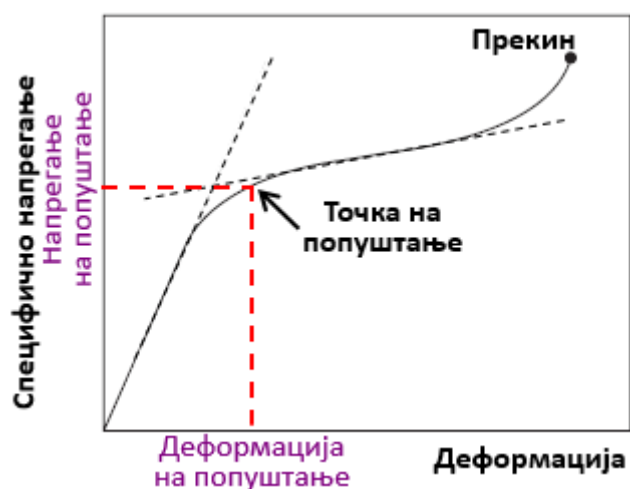
Влакно	Спец. напрег. (N/tex)	Истегнување при прекин (%)	Работа при прекин (mN/tex)	Почетен модул (N/tex)	Фактор на работа
Памук					
St. Vincent	0.45	6.8	14.9	7,3	0.49
Upper	0.32	7.1	10.7	5,0	0.46
Bengal	0.19	5.6	5.1	3,9	0.49
Ленено	0,54	3,0	8,0	18,0	0,50
Јута	0,31	1,8	2,7	17,2	0,50
Коноп	0,47	2,2	5,3	21,7	0,50
Рамија	0,59	3,7	10,6	14,6	0,47
Рајон	0,21	15,7	18,8	6,5	0,59
Ацетатно	0,13	23,7	21,6	3,6	0,72
Свила	0,38	23,4	59,7	7,3	0,66
Најлон	0,47	26,0	76,0	2,6	0,61
Волна					
Crossbred	0.14	42.9	37.5	2.1	0.62
Стаклено	0,75	2,5	9,8	29,4	-
Челично	0,26	8,0	17,7	28,5	-

објаснување бидејќи во пракса не постои јасна граница меѓу еластичното и не-еластичното однесување на текстилните материјали. Точката на попуштање не е јасно дефинирана точка на кривата, туку често се јавува регион на континуирана промена во закривеноста меѓу двата различни делови на кривата. Затоа е потребно прецизно да се лоцира нејзината позиција. Еден од начините за нејзино одредување е да се земе точката во која тангентата на кривата е паралелна со линијата која ја поврзува почетната точка на кривата со точката на прекин, слика 10.9. Оваа точка тогаш е карактеризирана (дефинирана) со *напрегањето на попуштање и деформацијата на попуштање*.



Слика 10.9. Точка на попуштање според Meredith

Друг пристап е дека точката на попуштање се наоѓа во напрегањето кое е дефинирано со пресекот на тангентите на двата нагиби на кривата, слика 10.10. Алтернативно, посебно кога има типични линеарни региони над и под регионот на попуштање, точката на пресекот на тангентите може да се земе како точка на попуштање. Бидејќи кривата напрегање – деформација е апроксимативно линеарна до точката на попуштање, работата до точката на попуштање ќе биде скоро еднаква на $\frac{1}{2}$ (напрегање на попуштање) \times (деформација на попуштање).



Слика 10.10. Точка на попуштање според Sorplan

Значи, точката на попуштање можеме да ја сметаме како граница каде престанува еластичната деформација на влакната а почнува пластичната. Оваа точка може да биде исто така важна како и точката на прекин. Интензитетот на закривеноста на кривата е исто така важен. Таму каде што има голема зарамнетост на кривата, тоа значи дека влакната силно ќе се спротивстават на мали оптоварувања но ќе попуштат при големи оптоварувања. Ова може да има влијание на чувството при допир (*handle*; чувството при допир е една од карактеристиките на ткаенините) на ткаенината направена од такви влакна.

10.9. БРАНОВИДНОСТ

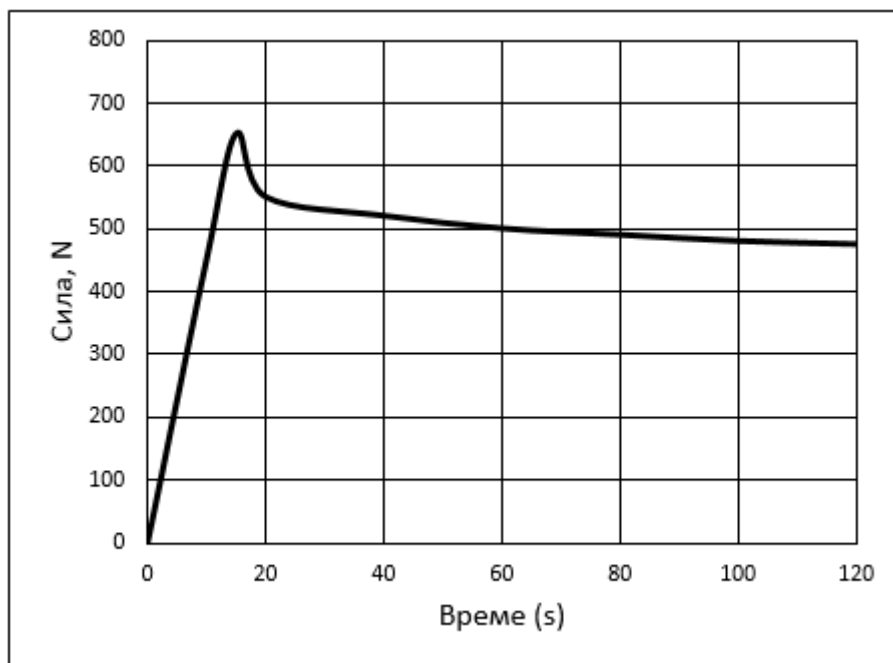
Во досегашното разгледување претпоставуваме дека влакната се прави, меѓутоа, многу влакна се брановидни. Брановидност се надминува со исправање (со влечење) на влакната при мерење на линеарната густина и со пренапрегање на почетокот од тестот на затегање.

10.10. ВРЕМЕНСКА ЗАВИСНОСТ

Дури и во почетниот регион на линеарна зависност кај напрегање – деформација кривата, текстилните материјали не се однесуваат стриктно како еластични материјали. Нивното однесување повеќе одговара на вискоеластичен модел бидејќи односот меѓу напрегањето и резултантната деформација содржи временски-зависен елемент. Тоа значи дека, кога материјалот ќе се издолжи под дејство на сила, покрај еластичната компонента, постои и друга компонента чие дејство се спротивставува на применетата сила и чиј интензитет зависи од брзината на издолжување. Оваа втора компонента бавно го губи интензитетот со тек на време. Кога силата ќе престане да дејствува, истата таа компонента реагира и се спротивставува на внатрешните еластични сили кои се стремат да го вратат материјалот во почетната состојба.

Оваа временска зависност се гледа кога ткаенина или предиво ќе се издолжат до извесен степен и потоа се држат во таа издолжена состојба. Ако се набљудува силата која е потребна за тоа издолжување ќе се забележи дека таа моментално расте до максималната вредност и потоа, со тек на време постепено се намалува како што е прикажано на сликата 10.11: овој феномен е познат како релаксација на напрегањето (*stress relaxation*).

Ако наместо константно издолжување, материјалот е подвргнат на константна сила, најдено е дека има почетно издолжување со големина како што може да се очекува од кривата сила – издолжување проследено со понатамошно бавно издолжување со текот на времето. Оваа однесување е познато како ползење (*creep*) и неговиот интензитет е една важна особина која треба да се има во предвид кога се оценуваат материјалите кои треба да се држат под оптоварување во долг временски период како што е на пример геотекстилот.



Слика 10.11. Опаѓање на силата со тек на времето

Кога интензитетот на силата (обично изразена во проценти од јакоста на затегање) се зголемува, се зголемува и брзината на ползење. Брзината на ползење, исто така, се зголемува со зголемувањето на температурата. Во зависност од интензитетот на силата и типот на влакната, ползењето може да продолжи бесконечно се додека материјалот не се скине. Затоа, интензитетот на силата треба да биде таков, времето на кинење на материјалот да биде подолго од очекуваниот животен век на текстилниот производ.

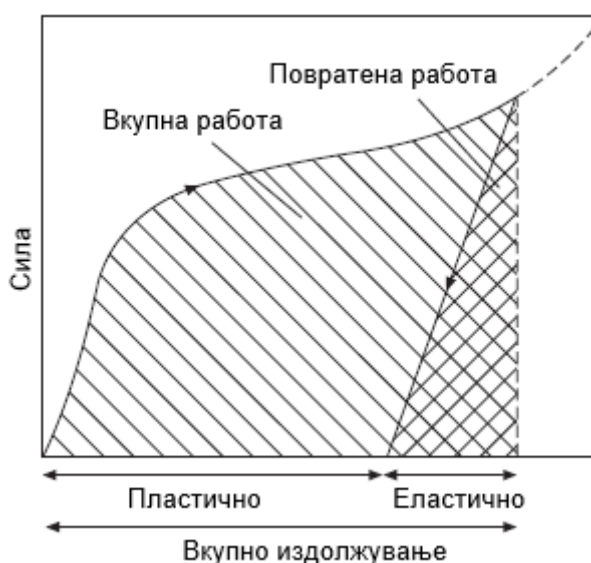
Кога текстилниот материјал е изложен на дејство на сила, дури и при многу краток временски период, целосното отстранување на силата овозможува примерокот да си ги поврати оригиналните димензии, во почетокот брзо а потоа бавно, со можеби мал резидуален остаток на издолжувањето. Ова резидуално (преостанато) издолжување е познато како *перманентна стабилизација*. Едноставно објаснување за ова е што моменталното издолжување може да се смета дека е составено од две величини, еластично издолжување, кое е потполно повратливо, и пластично или перманентно издолжување, кое не е повратливо. Според симплифицираната теорија, кога материјалот е подвргнат на дејство на сили под точката на попуштање тогаш повеќето од издолжувањето е повратливо, додека ако се силите поголеми и ја надминат точката на попуштање на материјалот еден дел од издолжувањето ќе останете перманентно. Оваа симплифицирана теорија не го зема во предвид ползењето или релаксацијата на напрегањето кои можат да се сфатат само ако се земат во предвид вискоеластичните особини на текстилните материјали.

Уште покомплицирано однесување, заради вискоеластичните особини, може да настане кога предивото е изложено на циклично дејство меѓу две различни нивоа на сили. Ако се дозволи предивото да се релаксира од поголемата од двете сили, силата опаѓа со времето, како што е претходно објаснето. Меѓутоа,

ако предивото е подложено на повеќе циклуси меѓу двете ниво на сили и ако потоа се остави да се релаксира од помалата сила, силата се зголемува и достигнува константна вредност со времето, наместо да се намалува.

10.11. ЕЛАСТИЧЕН ПОВРАТОК

Кога текстилните материјали се истегнат под дејство на сила која е под вредноста на кинење и ако потоа се остават да се повратат или „опорават“ (recover) од тоа дејство, тие одма не се враќаат на својата почетна должина. Колку од почетната должина ќе повратат зависи од употребената сила, времето на нејзиното дејствување како и од времето за повраток.



Слика 10.12. Еластично и пластично истегнување

Еластичноста, најзлоупотребуваниот термин, е дефиниран од *American Society for Testing and Materials*, како „својство на телото со кое се стреми да си ја поврати оригиналната големина и облик по деформацијата“.

Деформацијата, слика 10.12, може да биде разделена на еластичен дел, кој се повраќа по престанокот на напрегањето, и пластичен или перманентен дел. Квантитативно, пригодно е да се користи следнава дефиниција:

Некои автори ја користат следнава равенка како мерка за тоа колку материјалот ќе ја поврати својата оригинална должина по деформацијата:

$$\text{Еластичен повраток} = \frac{\text{повратено издолжување}}{\text{постигнато издолжување}} \cdot 100\%$$

или, со други зборови:

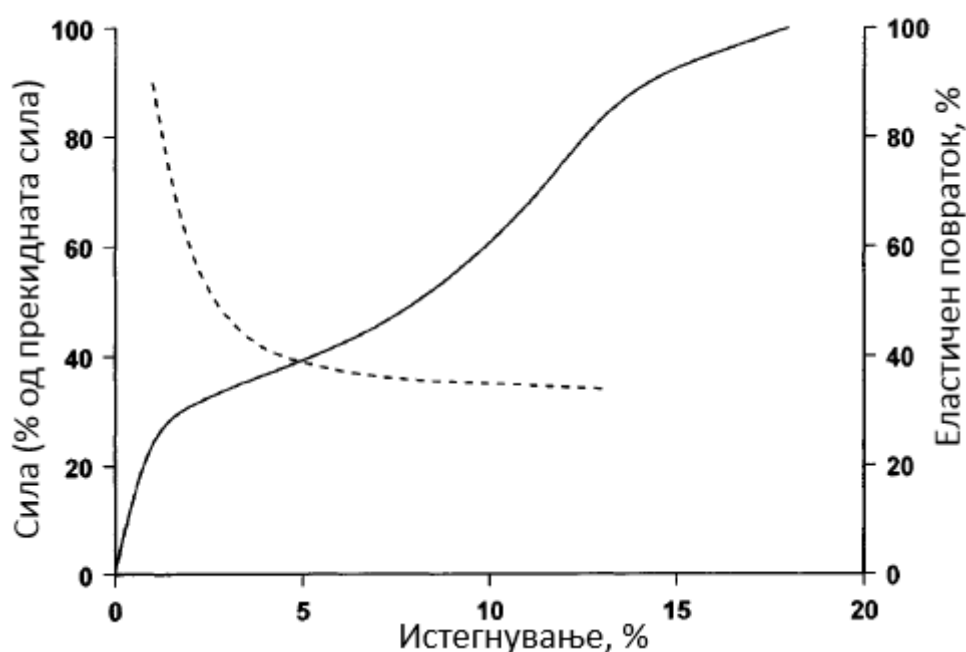
$$\text{Еластичен повраток} = \frac{\text{еластично издолжување}}{\text{вкупно издолжување}}$$

Целосниот повраток тогаш би имал вредност 1 (или 100 %), делумниот повраток би имал соодветна вредност помала од 1, и доколку нема никаков повраток вредноста би била нула.

Ова можеме да го дефинираме и преку работата на сличен начин:

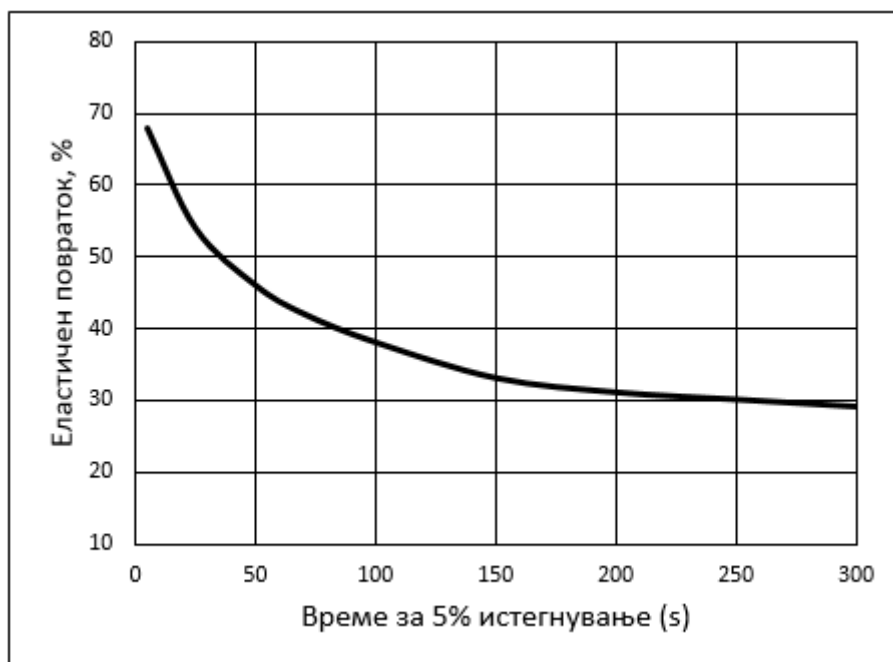
$$\text{Повраток на работата} = \frac{\text{вратена работа при повраток}}{\text{вкупна работа извршена за истегнување}}$$

Значи, перфектно еластичните материјали ќе имаат вредност од 100 %.



Слика 10.13. Испрекинатата линија покажува смалување на еластичниот повраток на акрилно предиво (десна ордината) со зголемување на издолжувањето. Полната линија ја покажува сила – издолжување кривата за предивото (лева ордината)

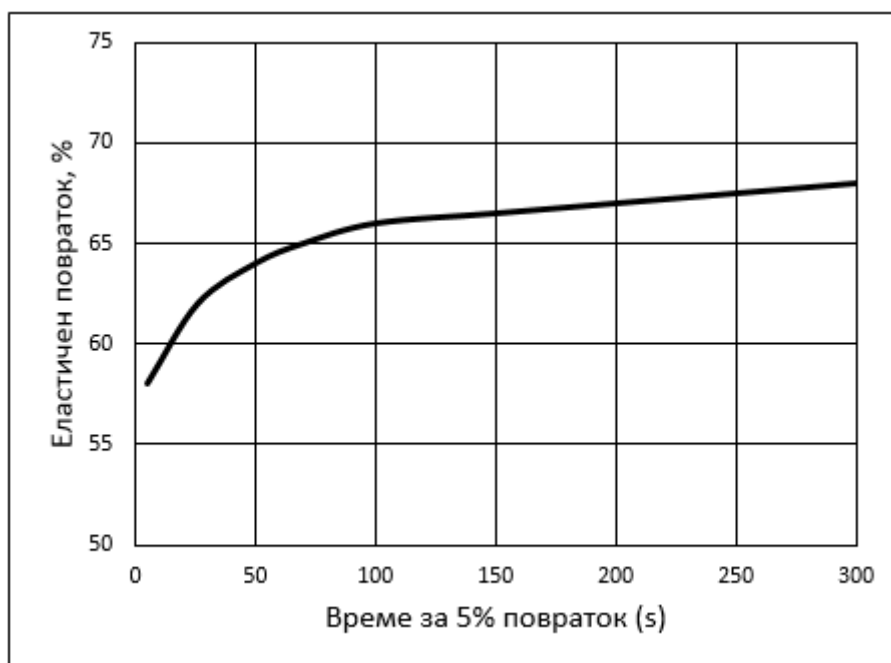
Експериментално е најдено дека процентот на повраток се намалува постојано со зголемувањето на истегнувањето на материјалот се до точката на попуштање каде повратокот нагло се намалува. Ова е прикажано на сликата 10.13 каде кривата на еластичен повраток – истегнување е ставена преку кривата сила –



Слика 10.14. Опаѓање на еластичниот повраток на ацетатно предиво со зголемување на времето на држење при 5% издолжување

истегнување за акрилно влакно. Еластичниот повраток суштински се менува во регионот на точката на попуштање.

Еластичниот повраток, исто така, е временски зависен феномен. Повратокот, покрај од другите фактори, зависи и од времето за кое се држи материјалот при дадено истегнување. Колку подолго се држи при дадено истегнување толку е помал степенот на повраток. Ефектот е прикажан на слика 10.14 каде еластичниот повраток на примерок од ацетатно предиво со 5% константно издолжување е графички прикажан во зависност од времето на држење при тоа издолжување. Повратокот е компаративно голем при краток временски период на држење но значително се намалува при држење во подолг временски период. Од друга страна, ако материјалот се држи при дадено издолжување, во константен временски период пред да се отстрани силата, еластичниот повраток се зголемува со времето, на почеток брзо а потоа побавно, како што е прикажано на слика 10.15.



Слика 10.15. Зголемување на еластичниот повраток на ацетатно предиво во зависност од времето на повраток при 5% издолжување

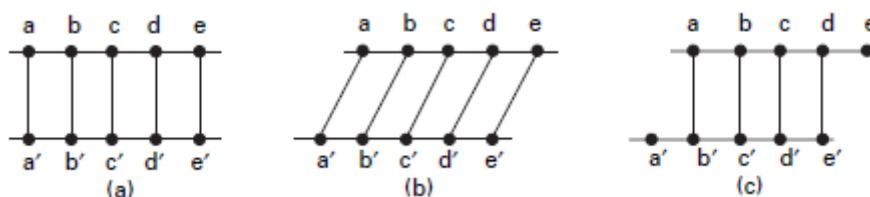
Степенот на повраток од истегнувањето е особина која е зависна од типот на материјалот, како што е прикажано во табелата 10.3. Оваа особина помага да се оцени еластичноста на материјалот при различни апликации како што се отпорноста на сплескување на ресите од тепих, повраток на ткаенините од гужвање и отпорноста на ткаенините спрема абразија.

Табела 10.3. Еластичен повраток на влакна за тепих од 59% издолжување (5 минути издолжување, 5 минути повраток)

Тип на влакно	Повраток (%)
Evlan*	34
Fibro*	40
Courtelle*	54
Најлон	85
Полипропилен	85
Волна	72

* Трговска ознака

На молекуларно ниво, повратливата или еластичната деформација се должи на истегнувањето на меѓу-атомските и меѓу-молекулските врски, како на слика 10.16b, додека неповратливата или пластичната деформација е резултат на кинењето на врските и нивно повторно формирање во нови позиции, слика 10.16c.



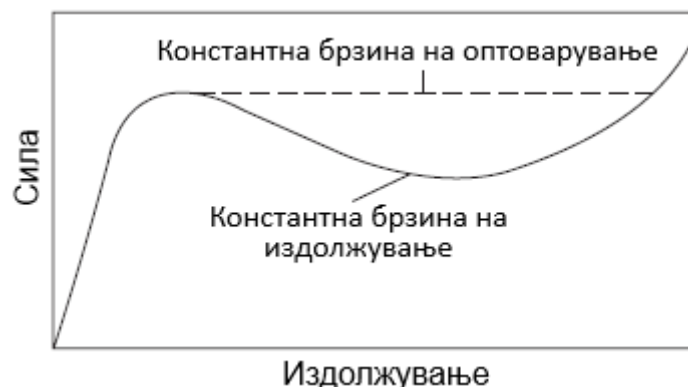
Слика 10.16. Шематска илустрација на еластична и пластична деформација: (a) почетна конфигурација, (b) еластична деформација со истегнување на врските, (c) пластична деформација со повторно воспоставување на врските во нови позиции

§11. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ МЕТОДИ

11.1. ОПШТО

Оптоварување – издолжување кривата на текстилните влакна може да се добие со постепено нивно истегнување и со мерење на напрегањето за секое зголемување на должината. За континуирани филаменти тестовите обично се вршат врз предиво со мал број на завои (значи не на паралелни филаменти) за да сите влакна се скинат во иста точка. Тестовите на единично влакно и единично предиво се користат за истражувачки цели и се долготрајни. За рутинско тестирање на памук со лабораториски тест инструмент или HVI (*High Volume Instrument*) линија, се користи сноп од влакна. За тестирање на предиво се користат автоматизирани тест инструменти кои го извлекуваат предивото од пакет и вршат многубројни репетитивни испитувања.

Заради начинот на кој што издолжувањето и точката на прекин на текстилните влакна варираат во зависност од времето на тестот, начинот на кој се истегнува примерокот е фактор кој ги одредува резултатите од тестот. Кај тестовите со константна брзина на издолжување (КБИ), примерокот се истегнува со константна брзина а силата е зависна величина; кај тестовите со константната брзина на оптоварување (КБО), примерокот се оптоварува со константна брзина а издолжувањето е зависна величина. За вообичаениот нелинеарен однос меѓу напрегањето и деформацијата (се мисли на целата крива), односот оптоварување – време е различен во двете процедури. Оттука разликата во отпорноста на ползење („ползење“ е механичка карактеристика на материјалите) предизвикува разлика во обликот на кривата. Друга последица е што при КБИ тестот можно е оптоварувањето да се намали при зголемувањето на издолжувањето, но ова не е можно при КБО тестот, каде што оптоварувањето мора да се зголемува во текот на целиот тест, при што настанува разлика како што е прикажано на сликата 11.1.

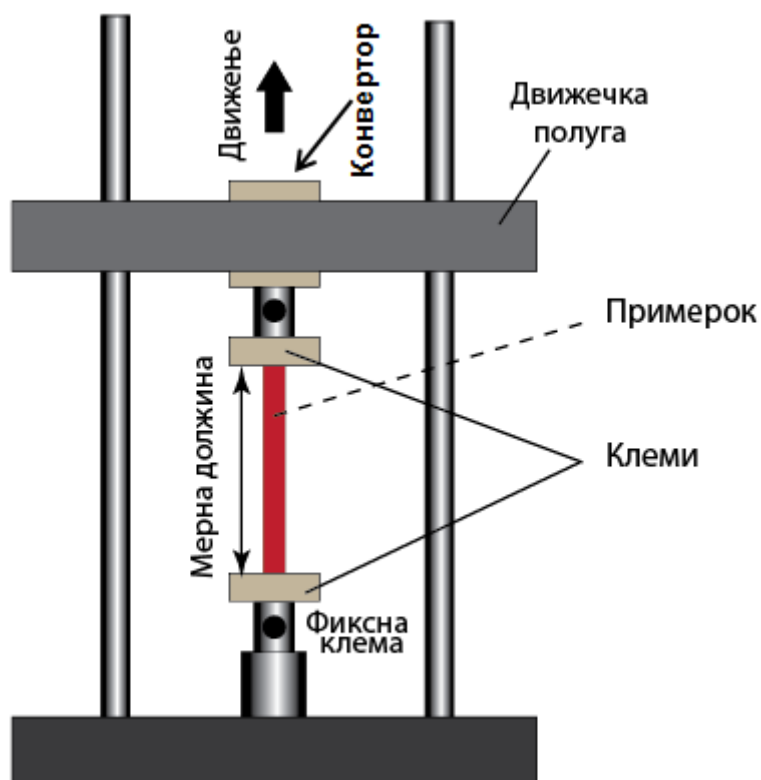


Слика 11.1. Резултати од КБИ и КБО

11.2. УНИВЕРЗАЛНИ ТЕСТ МАШИНИ

Машината за тестирање на затегање работи на принципот КБИ, а шематски е претставена на сликата 11.2. Се состои од две стезни клеми во кои се става примерокот за испитување. Долната клема е фиксна, додека горната, за време на тестот, се движи нагоре или надолу (во зависност од типот на тестот) со униформна брзина. Пред почетокот на тестот клемите се позиционираат на точно одредено растојание во зависност од должината на влакната/ткаенината. Мерната должина на примероците е дефинирана во соодветен стандард според кој се врши тестирањето. Влакната се прицврстуваат во клемите во затегната состојба. Кога ќе почне тестот влакната аксијално се затегаат и при одредено напрегање доаѓа до нивно кинење. Движењето на движечката полуга е со мотор кој е компјутерски контролиран. Над горната клема има конвертор кој поместувањето на полугата (издолжувањето) како и силата со која се затега примерокот ги претвора во дигитални сигнали и ги праќа на компјутерот кој ги регистрира on-line и издолжувањето и силата и ја црта кривата напрегање – деформација.

За тестирање на предиво, конци и ровинг клемите се специјално дизајнирани за да не дојде до пролизгување на материјалот за време на тестот, слика 11.3. Машините се произведуваат како самостоечки или како столни. За помали оптоварувања (конци, предиво) обично се столни со еден вертикален столб, по кој се лизга механизмот на подвижната клема, додека за поголеми оптоварувања обично се поробусни, самостоечки, со два столба. На сликите 11.2 и 11.3 прикажани се машини со два столба (движечката полуга се лизга по столбовите кои се со цилиндрична изведба). Изведбата со два столба и овозможуваат на машината поголема стабилност и поточни мерења, особено, при големи оптоварувања. И самостоечките и столните машини се изведуваат со различни опсези на сили така што за секој тип на материјал и за секој опсег на сили може да се избере најсоодветна машина. Сите современи машини се компјутерски управувани и со можност за цртање на графикот сила – издолжување.



Слика 11.2. Шема на машината за тестирање на затегање



Слика 11.3. Специјални клеми за испитување на предиво и конци

Попрецизните машини користат екстензиометри (специјално осетливи инструменти за мерење на поместувањето) за прецизно мерење на издолжувањето за време на тестот. Покрај статичко испитување, машините

обично вршат и динамички (циклични) испитувања на материјалите кога треба да се оцени нивната отпорност на замор. Доколку треба да се испитуваат материјалите во реални експлоатациони услови машините можат да бидат снабдени со температурни комори за изведување на тестот при егзактна температура на која е изложен материјалот во текот на употребата.

Клемите се особено важни бидејќи треба, од една страна, да овозможат цврсто држење на материјалот без да дојде пролизгување за време на тестот, а од друга страна не смеат да го оштетат примерокот и да дојде до негово кинење непосредно до нив. За тестирање на ткаенини и предива се користат различни клеми прилагодени на геометријата на примерокот, слика 11.3.

За подетални информации за машините за тестирање на текстилни материјали читателот може да ги посети следниве интернет страници: www.instron.com; www.admet.com; www.zwick.com; и други.

11.3. ПРИМЕРОЦИ ЗА ТЕСТИРАЊЕ НА ТКАЕНИНИ

Обично се користат три методи за мерење на затезната јакост, слика 11.4:

1. Граб тест

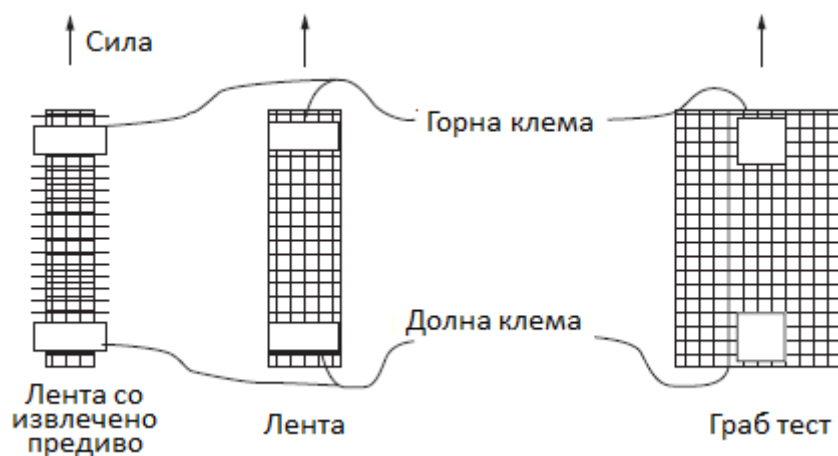
При овој тест ширината на клемите е помала од ширината на примерокот. Една комбинација може да биде примерок со ширина од 100 mm каде централно позиционираниите клеми се широки само 25 mm. Оваа метода се користи за густо ткаени ткаенини од кои тешко се извлекуваат предивата од рабовите. Граб (*grab = зграпчување*) методот се користи кога се сака да се определи „ефективната јакост“ на ткаенината при употреба.

2. Модифициран граб тест

Геометријата на прицврстување на примерокот е иста како кај граб тестот. Разликата е во тоа што на примерокот се прават странични засеци за да се пресечат предивата кои се вон правецот на тестирање со што се редуира на минимум отпорноста на ткаенината која е присутна кај граб тестот. Оваа метода се користи за тестирање на многу јаки ткаенини.

3. Тест на лента

Има два типа на тест со лента: нормален тест на лента која е пресечена од ткаенината и тест на лента со извлечено предиво. При двата теста целата ширина на лентата (примерокот) е стегната во клемите. Тестот со извлечено предиво (*ravelled strip test*) се користи само за ткаени ткаенини



Слика 11.4. Начини на прицврстување на примерокот

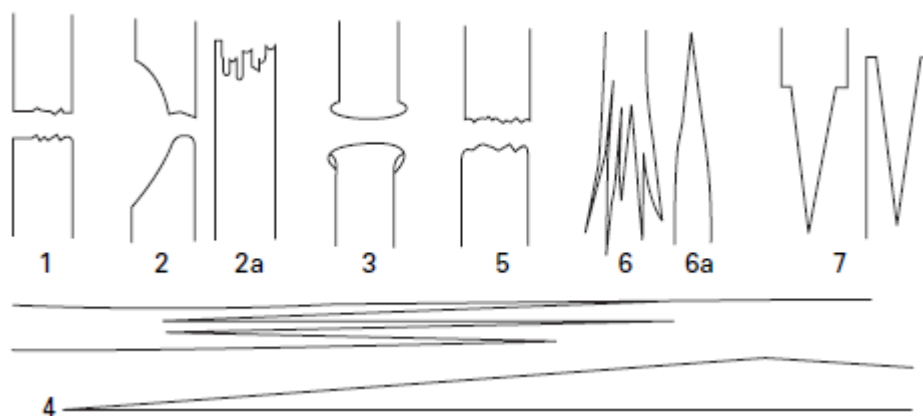
од кои може да се извлекува предивото, а примероците се припремаат со извлекување на предивото од двете страни на примерокот се додека не се постигне саканата ширина (примерокот од ткаенината се сечи пошироко). Нормалниот тест со лента се користи за ткаенини кај кои не може предивото да се извлекува од нивните рабови како што се плетенините, неткаенините, филцот и ткаенини кои се обложени. Тест примероците се сечат на точните димензии за тестирање.

Не постои едноставна релација меѓу греб и тестот на лента бидејќи јакоста на ткаенината зависи од типот на преплетот, густината на предивото, мобилноста на предивото и од многу други фактори. Тестот на лента дава податоци за прекидната јакост и издолжувањето на ткаенината додека греб тестот само за прекидната јакост.

11.4. МОРФЛОГИЈА НА ПОВРШИНАТА НА ПРЕКИНОТ

Со проучувањата кои се вршени со помош на скенирачки електронски микроскоп (*SEM – Scanning Electron Microscopy*) уште од 1970-тите изгледот на површината од прекилот (при затегање, замор, или друго) од влакната се класифицира во 18 типови, прикажани на сликите 11.5 – 11.7.

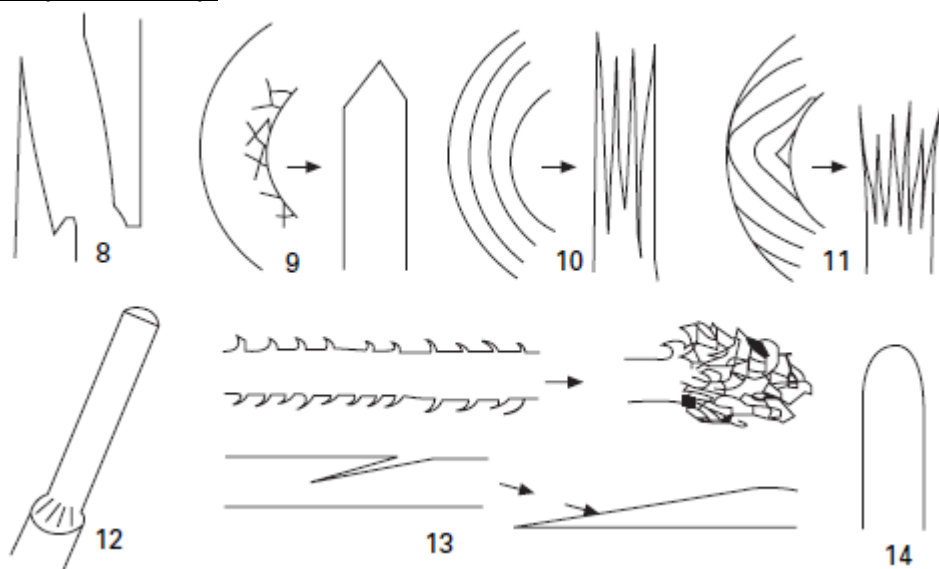
Прекин при затегање



11.5. Класификација на површината на прекилот од влакната предизвикан од затегање

1. Крт прекин
2. Растеглив прекин (ductile failure)
- 2а. Модифицирана форма (најлон деградиран од светлина)
3. Прекин при голема брзина кај влакна извлечени од растоп
4. Аксијално цепање
5. Грануларен прекин
6. Независен (поединечен) прекин на фибрилите
- 6.а. Фибрилен прекин на фибрилите (тие се спојуваат на слободниот крај)
7. Клину-шуплина (stake-and-socket) прекин

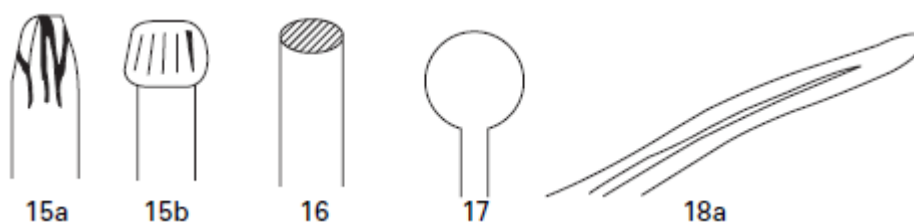
Прекини заради замор



11.6. Класификација на површината на прекилот од влакната предизвикан од замор

8. Замор од затегање
9. Замор од свиткување (јамка)
10. Замор од свиткување – цепење
11. Повеќекратно цепење од свиткување и усукување
12. Трошење (литење) на површината
13. Пилинг и цепење
14. Заоблување

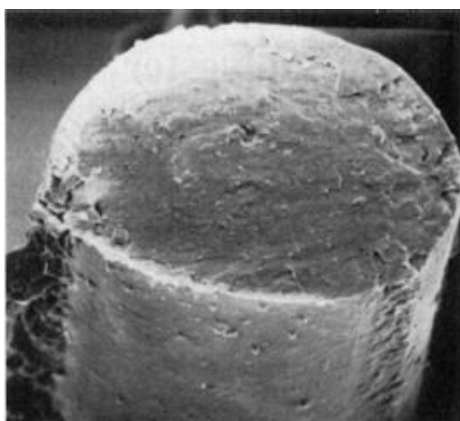
Други форми



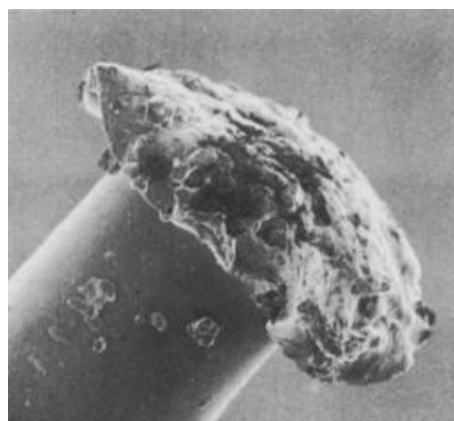
11.7. Класификација на површината на прекилот од влакната предизвикан од замор

- 15a. Трансверзална компресија (смачкано)
- 15b. Трансверзална компресија (локализирано)
16. Остар пресек
17. Растопување
18. Површина на прекин кај природните влакна пр. 18a површина на памук

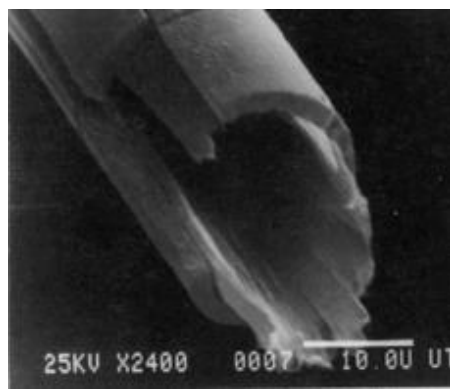
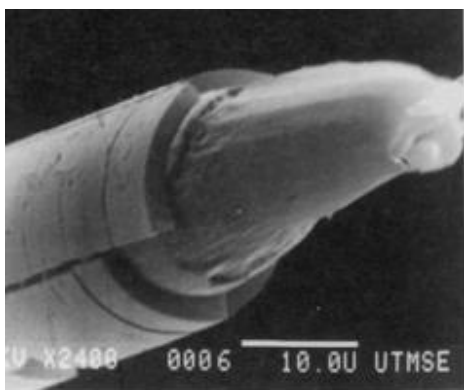
Во продолжение, слика 11.8, презентирани се некои микрографски снимки на прекините, објаснети претходно.



Крт прекин



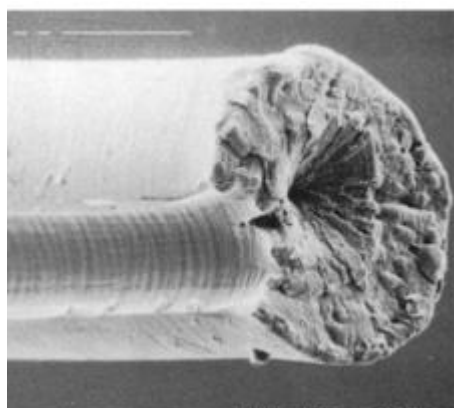
Прекин при голема брзина



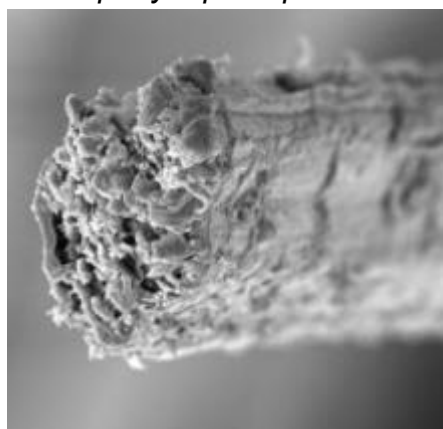
Клин-и-шуплина прекин



Грануларен прекин



Прекин од замор на затегање



Растеглив прекин



Фибрилен прекин

Слика 11.8. Микрографски (SEM) снимки на некои карактеристични прекини

§12. ТРИЕЊЕ

12.1. ВОВЕД

Предивото кое е исплетено или исткаено во ткаенини или намотано во бобини при овие процеси поминува низ многу водилки (цилиндари или цевки). Секоја од тие водилки предизвикува отпор врз предивото заради триењето (фрикција).

Промените во фрикционите особини на предивото можат да предизвикаат зголемување или смалување на овој отпор а со тоа и до затегнатоста на предивото. Тоа може да предизвика проблеми при процесирањето на тој начин што премногу или премалку предиво се дозира во процесот или предивото е прелабаво или престегнато. Заради тоа фрикционите особини на предивото се важни за да може глатко да поминува низ производните машини.

Ако се проба да се придвижи (со туркање или влечење) некој објект кој лежи на некаква површина потребна е сила за да се придвижи објектот. Штом објектот ќе почне да се движи (лизга) по површината силата која е потребна да го одржи во движење е помала од стартната сила при придвижувањето. Силата која се спротивставува на движењето на објектот, во било кој правец, е позната како фрикциона или сила на триење. Силата која треба да се совлада за да објектот почне да се движи е позната како лимитирачка или *статичка фрикција* додека фрикционата сила која се спротивставува на движењето кога објектот е во движење е позната како лизгачка или *динамичка фрикција*.

Фрикционата сила зависи од два главни фактори: природата на контактната површина и силата која ги држи површините во контакт и која е позната како нормална сила. Феноменот на фрикцијата подлежи на многу физички закони кои се познати како Амонтонови закони:

1. Статичката фрикциона сила F_s е правопрпорционална на нормалната сила, N , меѓу површините и дејствува под прав агол на рамнината на контактот. Односот F_s/N е наречен *коэффициент на статичка фрикција* или *коэффициент на статичко триење*, μ_s .

$$F_s = \mu_s \cdot N$$

2. Кај сите обични површини статичката фрикција е независна од контактната површина при константна нормална сила.
3. Кога ќе настане движење, лизгачката (движечката) фрикциона сила, F , е пропорционална на нормалната сила, N , меѓу површините. Односот F/N се вика *коэффициент на динамичка фрикција* или *коэффициент на динамичко триење*, μ .

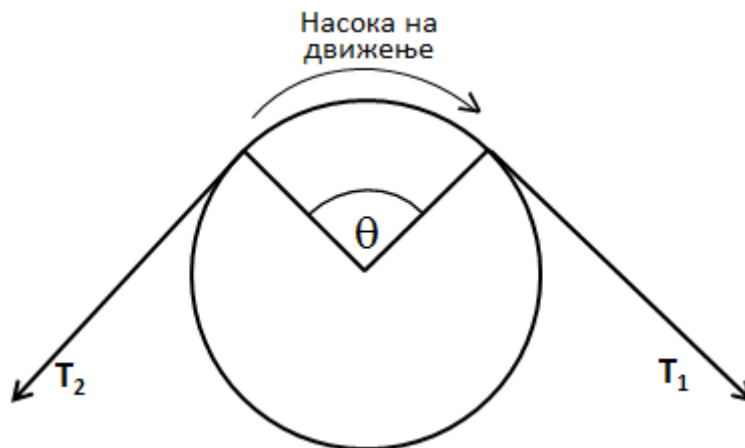
$$F = \mu \cdot N$$

4. Кај сите обични површини динамичката фрикција е независна од контактната површина и е независна од брзината на движење.

Овие закони се во голема мера добро апликативни за тврди материјали, но не се потполно и за текстилни материјали, особено при мала нормална сила. Во секој случај, од практичен интерес за нас е динамичкото триење.

12.2. СПИРАЛНА ФРИКЦИЈА

Фрикцијата која предивото ја трпи кога поминува преку закривена површина е регулирана од контактниот агол со површината како и од затегнатоста од двете страни на контактот. Ова е покажано шематски на сликата 12.1.



Слика 12.1. Шематски приказ на спирална фриктија околу цевка

Затегнатоста на страната каде се превзема предивото T_1 е секогаш поголема отколку на влезната страна T_2 бидејќи се јавува отпор кон движењето на предивото заради фриксионата сила. Така на пример, кога предивото поминува околу водилката неговата затегнатост треба да се зголеми за вредност што е неопходна да се совлада силата на триење:

$$T_1 = T_2 e^{\mu \theta}$$

Равенката можеме да ја напишеме во форма:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu \theta}$$

и ако ја логаритмираме од двете страни на равенството, па ќе добиеме:

$$\mu = \frac{1}{\theta} (\ln T_1 - \ln T_2)$$

Каде: T_1 е излезната затегнатост а T_2 – влезната: θ е контактниот агол во радијани; μ е коефициентот на спирална фриктија. Фриксионата сила рапидно

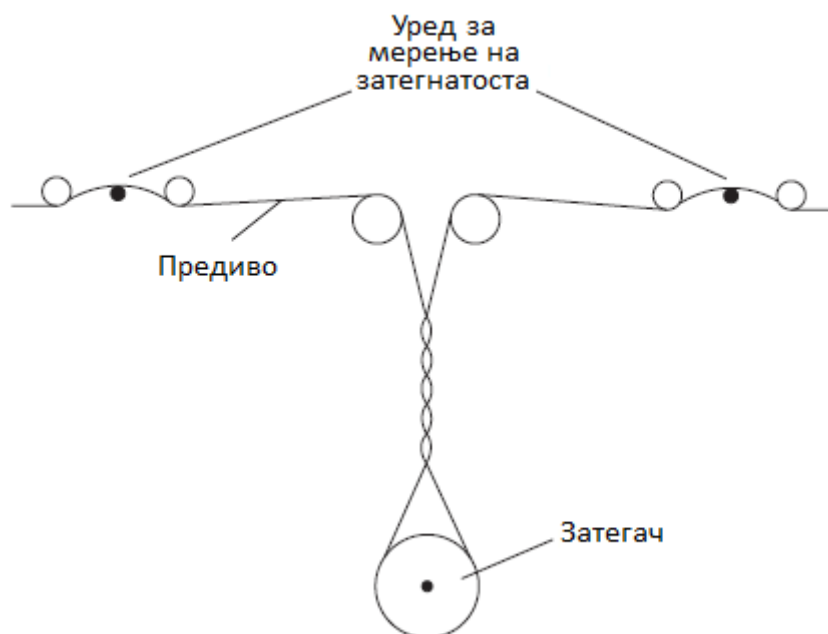
се зголемува со зголемувањето на контактниот агол заради зголемувањето на нормалната сила.

12.3. МЕРЕЊЕ НА ТРИЕЊЕТО КАЈ ПРЕДИВО

Најобичен начин за мерење на триењето кај предиво е тоа да се пропушти да проаѓа околу метален цилиндер и да се измерат T_1 и T_2 и потоа да се употреби горната релација. Но при тоа се јавува проблем затоа што фрикционата сила не се владее потполно по оваа релација туку зависи од следниве фактори: дијаметарот на цилиндарот, аголот, влезната затегнатост и од брзината на движење. Заради тоа мерењето на коефициентот на триење на предиво може само да се искористи за компаративни цели кога сите останати фактори, освен типот на предивото што се тестира, се држат константни.

Соодветниот американски стандард, *ASTM D 3108 Test method for coefficient of friction, yarn to metal*, ги препорачува следниве услови за тестирање: брзина на предивото 10 m/min, агол на обвиткување на цилиндарот 180° или 360° но не помал од 90° . Стандардната површина на триење е хромиран челик со дијаметар на цилиндарот од 12,7 mm (0,5 in) со 4 – 6 μm рапавост. Важно е пред тестот цилиндарот и сите фрикциони елементи да бидат онечистени со растворувач.

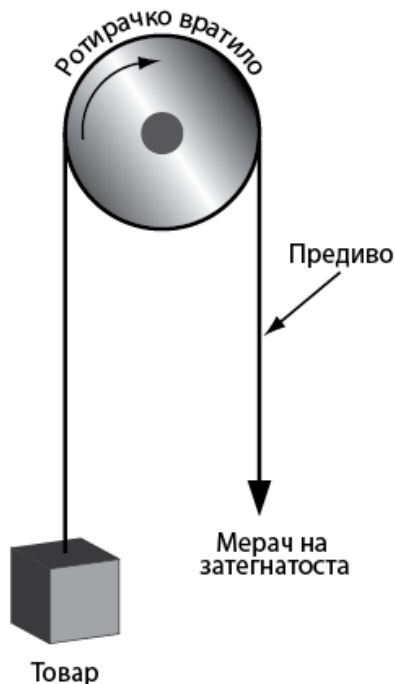
Коефициентот на триење се пресметува од измерената влезна и излезна затегнатост при проаѓањето на предивото со константна брзина преку цилиндарот.



Слика 12.2. Мерење на предиво-со-предиво триење на движечко предиво

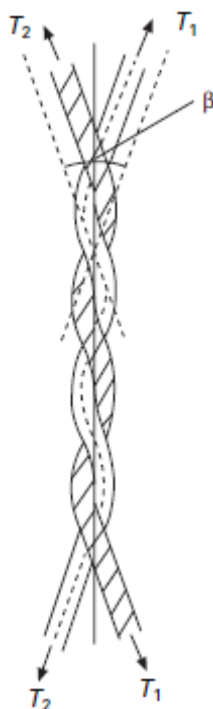
Триењето на предивото исто така може да се мери како предиво-со-предиво триење наместо предиво-со-метал. Американскиот стандард *ASTM D 3412 Test*

method for coefficient of friction, yarn to yarn предвидува два начини за тоа. Едниот начин е замена на цилиндарот со слободно-движечки затегнувач; предивото се усукува околу себе со три комплетни завои, како што е прикажано на сликата 12.2. Аголот на намотаното предиво е 18,85 rad. Влезната затегнатост на предивото се поставува на 9.81 mN/tex а брзината на 0,02 m/min.



Слика 12.3. Мерење на триењето на предиво со ротирачко вратило

Другиот, е метод на ротирачко вратило каде што предивото е премотано преку вратило со дијаметар од 48 mm. На едниот крај од предивото е ставен товар за да го затегни со сила од 9.81 mN/tex, а другиот крај е во инструмент кој ја мери затегнатоста како што е прикажано на слика 12.3. Вратилото ротира со површинска брзина од 0.02 m/min и врши триење врз предивото при што се менува неговата затегнатост. Од мерењето на затегнатоста се пресметува коефициентот на триење .



Слика 12.4. Мерење на триењето предиво-со-предиво

За мерење на триењето меѓу предивата се користи и метод како што е прикажан на сликата 12.4, каде два конци се меѓусебно впредени. Двата спротивни краеве на предивата се затегаат различно, и ако таа разлика се зголеми предивата ќе прослизгаат едно наспроти друго. Во тој случај коефициентот на триење ќе биде:

$$\mu = \ln \frac{T_2 / T_1}{\pi \cdot n \cdot \beta}$$

Каде T_2 и T_1 се затегањата на предивата, n е бројот на завои а β е аголот меѓу оските на предивата

Во зависност од видот на процесирањето (контактните површини) коефициентот на триење се мери за разни видови материјали преку кои се движи предивото. Тоа се главно материјали кои ги користат производителите на текстилни машини. Од нив најзастапени комбинации се:

- предиво-керамика
- предиво-челик
- предиво-стакло

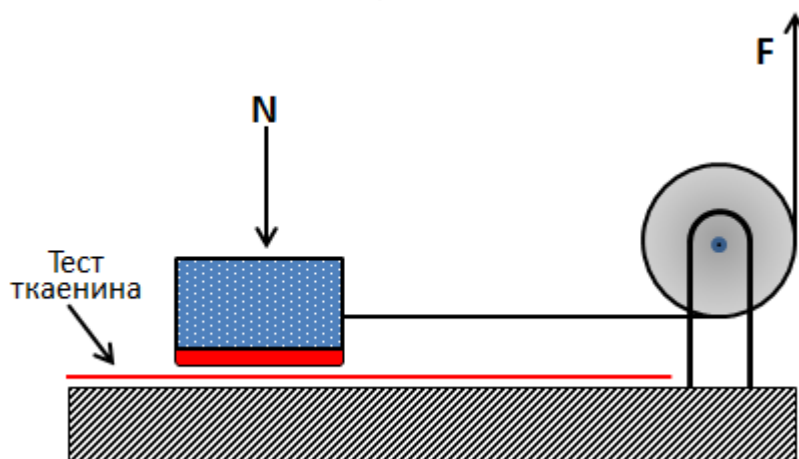
На сликата 12.5 прикажан е современ инструментот за мерење на коефициентот на триење на предивото со разни контактни материјали, кој статистички ги обработува резултатите од мерењата.



Слика 12.5. Мерач на коефициентот на триењето од фирмата Rotshield, Швајцарија (протокот на предивото е од лево кон десно)

12.4. ТРИЕЊЕ КАЈ ТКАЕНИНИ

Триењето на ткаенините подлежи на истите законитост како предивото. За мерење на триењето кај ткаенините се користат два главни методи. Еден од овие методи шематски е прикажан на слика 12.6.

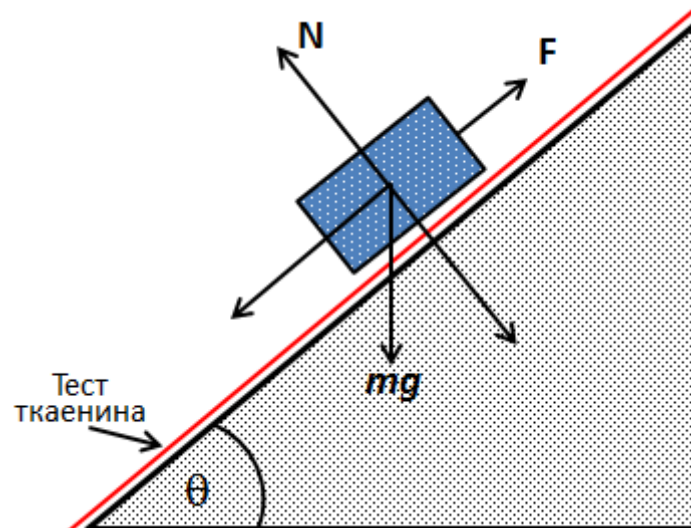


Слика 12.6. Тест на фрикција кај ткаенина

Кај овој тест блок од маса, m , се влечи преку рамна крута површина која е покриена со ткаенината што се тестира. Жицата која го влечи блокот се води преку калем (кај кој нема триење) и се поврзува со конвертор во машината за испитување на затегање каде се мери силата. На овој начин се мери силата која го стартува движењето на блокот како и силата која го одржува во движење со што се пресметуваат и статичкиот и динамичкиот коефициент на триење преку релацијата:

$$\mu = \frac{F}{mg}$$

Измерениот коефициент на триење е карактеристичен за двата материјали кои се во контакт така да изборот на материјалот од кој е изработен блокот е многу битен. Блокот може да биде од еднороден материјал како дрво или челик или може да биде покриен со ткаенина. Во случај да е покриен со ткаенина треба да се избере или стандардна ткаенина која се користи за сите тестови на триење или да биде парче од ткаенината која се тестира. Преферентна опција е користењето на иста ткаенина бидејќи со тоа се надминуваат сите проблеми на стандардизација на површината од блокот. Фактор кој може да влијае врз резултатите од тестот е финишот на ткаенината како на пример, што може да биде нанесениот омекнувач, кој ја редуцира фрикцијата на ткаенината. Финишот може лесно да се пренесе од ткаенината врз блокот па тој треба да се чисти или да се покрие со ново парче ткаенина пред секој тест.



Слика 12.7. Тест на фрикција на коса рамнина

Вториот метод кој се користи за мерење на триењето кај ткаенините е со коса рамнина, која е шематски е прикажана на слика 12.7. При овој метод иницијално блокот со маса m почива на коса рамнина која е покриена со ткаенината која се тестира. Апаратурата дава можност аголот на закосеност на рамнината, θ , континуирано да се менува се додека блокот не почне да се лизга. Во тој момент фрикционата сила F е еднаква на компонентата од масата на блокот која е паралелна на закосената рамнина:

$$F = mg \sin \theta$$

Нормалната сила, N , е еднаква на компонентата од масата која е нормална на закосената рамнина:

$$N = mg \cos \theta$$

Бидејќи коефициентот на триење е:

$$\mu = \frac{F}{N}$$

следи:

$$\mu = \frac{mg \sin \theta}{mg \cos \theta} = \operatorname{tg} \theta$$

Со овој метод се мери статичкиот коефициент на фрикција. Коефициентот на динамичка фрикција може да се измери со давање на иницијален импулс на блокот и со мерење на аголот при кој блокот продолжува да се движи. Најдено е дека, кај текстилните материјали, коефициентот на триење зависи и од нормалната сила, N , место да биде независен од неа како што се очекува од Амонтоновите закони.

Исто така е најдено дека релацијата :

$$F = a \cdot N^n$$

подобро ги опишува експерименталните резултати. Во оваа релација a , е коефициент на триење (кој е еднаков на μ само кога $n = 1$); n , е индекс на триење кој може да варира меѓу 0,67 и 1,0.

12.5. ТИПИЧНИ ВРЕДНОСТИ ЗА μ

Иако влакната немаат вистински, константен коефициент на триење, корисно е да се наведат вредности за $\mu = F/N$ за да се покаже големината на триењето при одредени услови. Меѓутоа, бидејќи вредноста на μ многу варира од експерименталните услови (оптоварување, брзина, површината и геометријата на контакт, влажноста, итн.) како и од егзактната состојба на површината, можат да се наведат само типични резултати.

Табела 12.1. Типични вредности на μ за триење меѓу водилките и влакната.

Влакно	Челик	Порцелан	Затегнувач на влакната	Керамика
Рајон	0,39	0,43	0,36	0,30
Ацетатни	0,38	0,38	0,19	0,20
Памук	0,29	0,32	0,23	0,24
Најлон	0,32	0,43	0,20	0,19
Ленени	0,27	0,29	0,19	-

Табела 12.2. Типични вредности на μ за триење меѓу влакната.

Тип на влакно	Вкрстени влакна	Паралелни влакна
Најлон	0,14 – 0,60	0,47
Свила	0,26	0,52
Рајон	0,19	0,43
Ацетатно	0,29	0,56
Памук	0,29; 0,57	0,22
Јута	-	0,46
Казеински (протеински)	-	0,46
Саран (термопластично влакно)	-	0,55
Терилен (полиестер)	-	0,58
Волна (во правец на крлушките)	0,20-0,25	0,11
Волна (контра крлушките)	0,38-0,49	0,14

Во табелите 12.1 и 12.2 дадени се типичните вредности за μ за некои вообичаени влакна за меѓусебното триење и за триење со водилките (од различни материјали) при процесирањето.

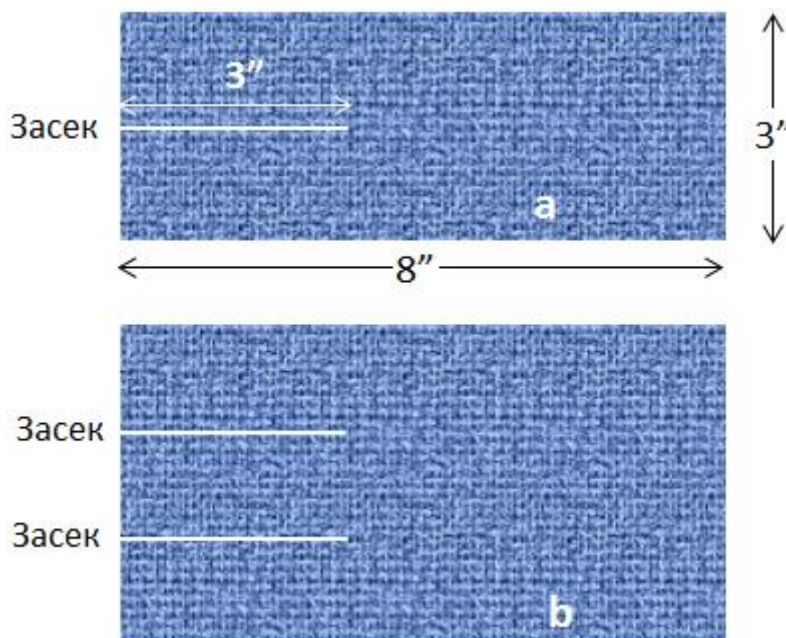
§13. ЦЕПЕЊЕ НА ТКАЕНИНИ

Ткаенината се цепи кога е прободена со остар предмет и почетниот мал отвор преминува во долг цеп под дејство на многу мал екстра напор. Цепењето е веројатно највообичаениот начин на оштетување на ткаенините при употреба. Тоа е особено важно за техничките ткаенини кои се изложени на груба експлоатација како што се шаторите и вреќите, а посебно за оние каде пропагирањето на цепот може да биде катастрофална како што се, на пример, падобраните. Облеката која се носи на отворено, мантили, униформи, комбинезони се типични примери каде јакоста на цепење е важна.

13.1. МЕРЕЊЕ НА ЈАКОСТА НА ЦЕПЕЊЕ

Особина што се мери кај ткаенините обично е силата која е потребна за пропагирање на веќе постоечки цеп, а не силата што е потребна за да се иницира цеп бидејќи тогаш е потребно сечење на предивото. При припрема на примероците обично се засекуваат и потоа се мери силата за пропагирање на цепот. Тоа обично се изведува со прицврстување на двата краци од цепот во машина за испитување на затегање. Повеќето различни тестови на јакоста на цепење меѓусебно се разликуваат по геометријата на примерокот.

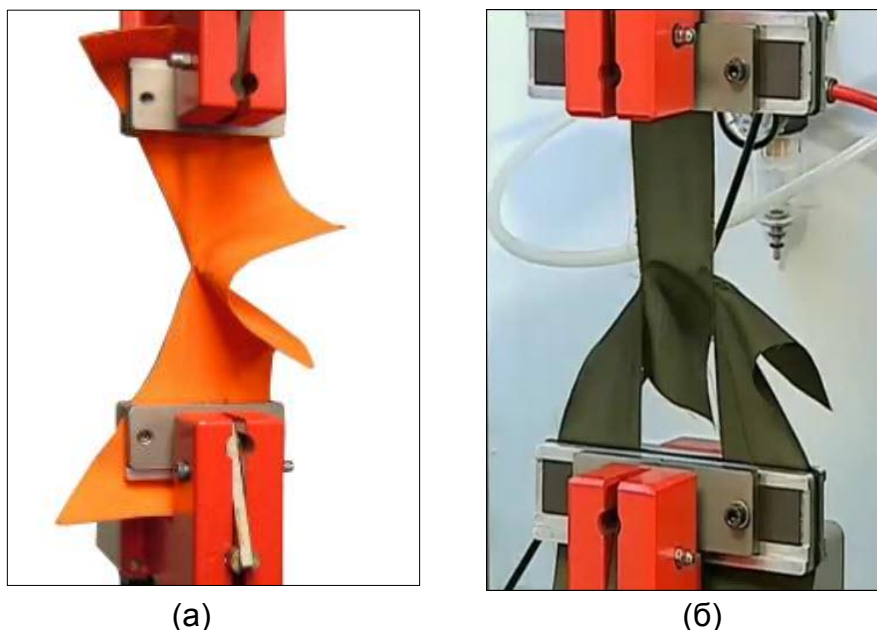
Наједноставен тест е оној кај кој се прави засек во центарот на примерокот од ткаенината, слика 13.1а, и потоа двата краци се расцепуваат во машина за испитување на затегање, слика 13.2а. Овој тест се нарекува *тест на единичен цеп* (*single-rip test*) или *панталони тест*.



Слика 13.1. Изглед на примероците за тестовите на цепање (а) метод со еден засек, (б) метод со два засеци

Друг тест е оној кај кој примерокот се припрема со три краци, со два засеци, слика 13.1б, од кои централниот крак се прицврстува во горната клема од тест машината а другите два – во долната клема, слика 13.2б. Овој тест се вика *тест на двоен цеп* (*double-rip test*) или *јазик тест* бидејќи два цепа се прават симултано.

Тестот се изведува со униформна брзина на издолжување (КБИ) при што се исцртува дијаграм за отпорот на материјалот, слика 13.3. Според ASTM (*American Society for Testing and Materials*) стандардот *D2261 Standard Test Method for Tearing Strength of Fabric by the Tongue (Single Rip) procedure (Constant-Rate-of-Extension Tensile Testing Machine)*, кај панталони тестот се испитуваат два примероци од кои кај едниот засекот е во правец на основата на ткаенината а кај другиот – во правец на јатокот. Примерокот е со димензии 8" x 3" , а засекот е паралелен на подолгата страна и е со должина од 3" (1" = 25,4 mm). Резултатите од тестот се прикажуваат од кривата на два начини:

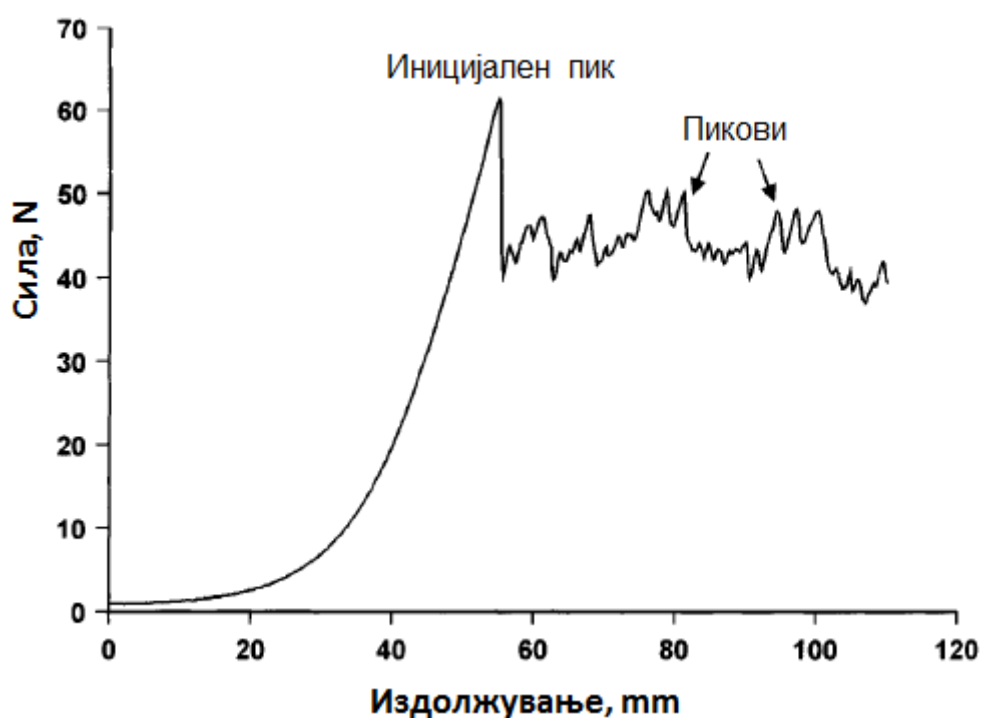


Слика 13.2. Испитување на цепење според методот на (а) единичен засек и (б) двоен засек

1. Ако на кривата има 5 или повеќе дистинктивни пикови, слика 13.3, се пресметува средната вредност од петте највисоки пикови и таа претставува сила на цепење.
2. Ако кривата има помалку од 5 дистинктивни пикови, вредноста од највисокиот пик се зема како сила на цепење.

Посебно се испитува силата на цепење по основа а посебно по јаток.

Основни фактори кои влијаат врз јакоста на цепење се особините на предивото и структурата на ткаенината. Механизмот на цепење на ткаенините е различен од оној на линеарната јакост на затегање и зависи од способноста на индивидуалните предива да пролизгуваат и да се групираат заедно во снопови со што се зголемува јакоста на цепење. Така, кај полабавите ткаенини доаѓа до поголемо пролизгување на предивото и групирање во снопови што резултира во поголем отпорност на цепење. Кај густо ткаените ткаенини, лимитирана е можноста за пролизгување на предивото и тоа индивидуално се цепи што резултира со намалена севкупна отпорност на цепење.



Слика 13.3. Крива сила – издолжување при тест на цепенје

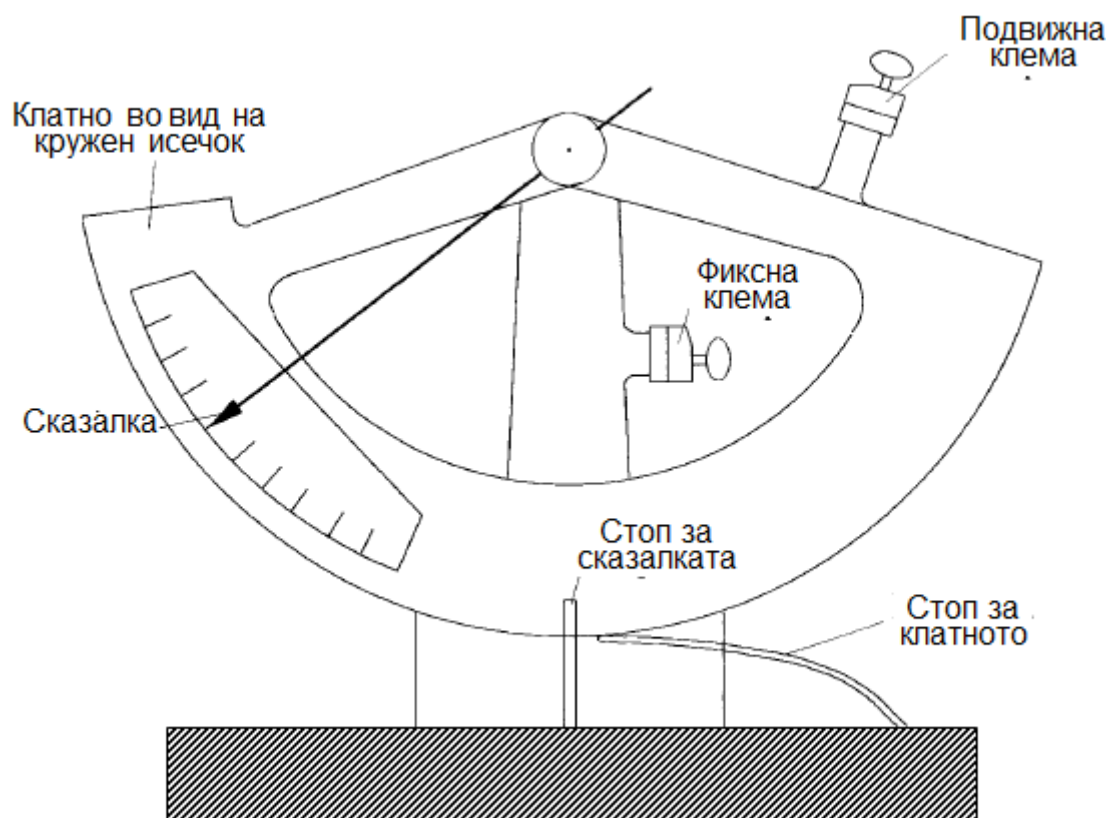
13.2. ЕЛМЕНДОРФ ТЕСТ

Елмендорф тестот на цепенје се изведува со апарат кој работи по принципот на клатно. Силата на цепенје е во корелација со загубата на енергијата на клатното според следнава релација:

$$\text{Загуба на енергија} = \text{Сила на цепенје} \times \text{Растојание}$$

$$\text{Загуба на потенцијална енергија} = \text{Извршена работа}$$

Апаратот, кој е прикажан на сликата 13.4, се состои од клатно во вид на кружен исечок на кое се наоѓа клема која е во линија со фиксната клема од инструментот кога клатното е во подигната стартна позиција, слика 13.5, во која има максимална потенцијална енергија.



Слика 13.4. Елмендорф тест на цепење

Примерокот е прицврстен меѓу двете клеми и цепењето отпочнува на засекот од примерокот кој се наоѓа токму меѓу двете клеми. Почетната положба на клатното е како на сликата 13.5. Клемите во оваа положба се во линија а примерокот кој е прицврстен во нив е нормален на рамнината на која го читате овој текст. Потоа клатното се пушта при што се движи во насока обратна од насоката на сказалката на саатот, и го цепи примерокот преку оддалечувањето на подвижната клема од фиксната, слика 13.4.

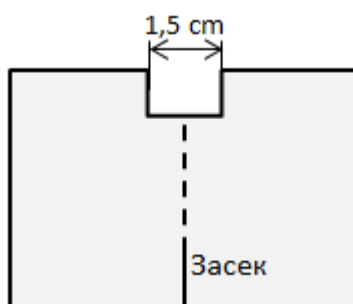
Клатното поседува потенцијална енергија заради стартната висина. Дел од оваа енергија се губи на цепење на ткаенината така што откако клатното ќе ја помине најниската позиција не може да ја достигне истата висина како на почетокот од тестот. Разликата меѓу стартната висина и постигнатата висина од спротивната страна, е пропорционална на изгубената енергија за цепење на ткаенината. Скалата која е монтирана на апаратот може да биде така градуирана да директно ја даде силата на цепење или може да даде проценти од почетната потенцијална енергија. Потенцијалната енергија може да се прилагодува во зависност од очекуваната сила на цепење, со менување на теговите кои се прикачени на клатното.



Слика 13.5. Стартна позиција на клатното кај Елмендорф тестот

Примерокот треба да се цепа во правец на испрекинатата линија на слика 13.6 и цепањето да настане во рамките на жлебот од 1,5 cm, во спротивно тестот се смета за невалиден. Извршената работа т.е. прикажаната вредност на апаратот е пропорционална на должината на цепот. Овие апарати се произведуваат со различен опсег на сили кој може да се менува, како што спомнавме, со додавање или одземање на тегови со различна маса.

Кога ткаенината се цепа, целата сила е концентрирана на неколку предива во точката на пропагирање на цепот. Заради тоа, силите при цепање се многу пониски од оние на кинење при затегање.



Слика 13.6. Изглед на примерокот за Елмендорф тестот

Во зависност од конструкцијата на ткаенината, предивата можат да се групираат заедно со странично придвижување во текот на тестот на цепање и на тој начин да ја подобрат отпорноста на цепање бидејќи повеќе предива, а не само едно, треба да се скинат истовремено. Пиковите кои се забележуваат на кривата сила – издолжување, слика 13.3, се јавуваат почесто од кинење на група на предива отколку од кинењето на единично предиво. Можноста за групирање зависи од лабавоста на предивото во ткаенината. Типот на преплетот, исто така, има големо влијание: кепер преплетот, на пример, овозможува подобро групирање

на предивата што резултира во поголем отпорност на цепање отколку кај платнениот преплет. Густо ткаените ткаенини спречуваат поместување на предивата со што се губи меѓусебниот потпорен ефект на предивата. И финишот на влакната исто така има таков ефект бидејќи ги слепува влакната заедно. Јакоста на затегање на ткаенините има свое влијание врз отпорноста на цепање на тој начин што оние ткаенини кај кои има поголемо издолжување овозможуваат меѓусебна дистрибуција на оптоварувањето, додека влакната со мало издолжување, како што е памукот, полесно се цепат.

§14. ЈАКОСТ НА РАСПРСНУВАЊЕ

Тестовите на затегање, генерално, се применуваат кај ткаени ткаенини каде што јасно се дефинирани насоките по основата и по јатокот и во кои насоки јакоста може точно да се измери. Меѓутоа, некои ткаенини како што се плетените ткаенини (плетенините), неткаените ткаенини (*nonwoven fabrics*) и чипките немаат ваква дистинктивна насока во која јакоста е максимална. Јакоста на распрснување е алтернативна метода за мерење на јакоста на материјалот. Кај оваа метода, материјалот се напрега во сите насоки истовремено и заради тоа е погодна за вакви материјали. Постојат ткаенини кои се симултано напрегнати во сите насоки во текот на експлоатацијата, како што се ткаенините за падобрани, филтрите, вреќите и мрежите и за кои е важно да бидат тестирани на што пореален начин. При експлоатацијата ткаенините побрзо ќе се скината при распрснување отколку при чисто напрегање на затегање, бидејќи ваков тип на напрегање (распрснувачко) е постојано присутно на лактите и колената од облеката. Кога ткаенината ќе се скине при распрснување тоа се случува во насока која има најмало истегнување при прекин. Тоа е затоа што кога ткаенината е напрегната на ваков начин сите насоки на ткаенината подлежат на исто истегнување, така што во насоката на ткаенината каде има најмало истегнување при прекин, прво се кине. Тоа не мора да значи дека е насоката со најмала јакост.

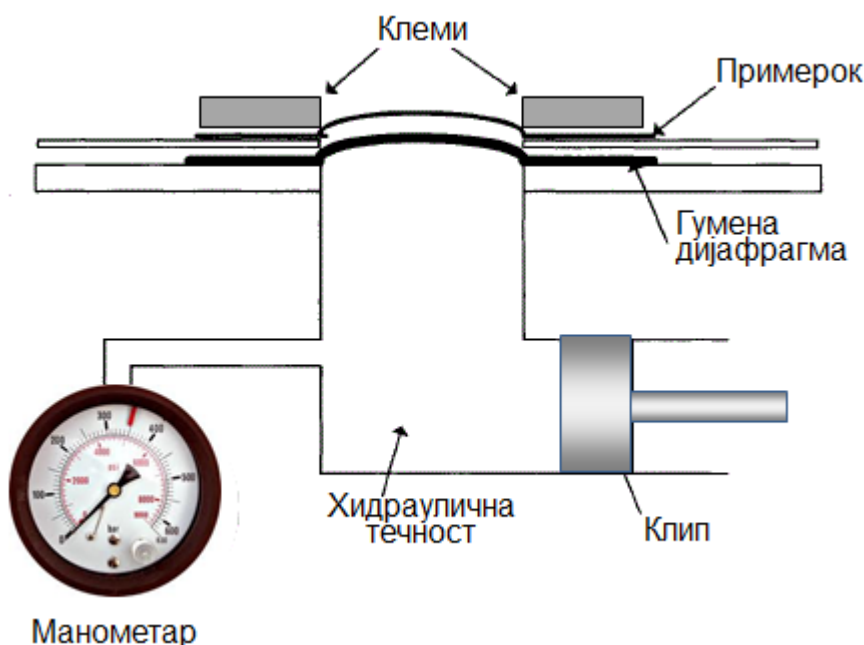
При стандардниот тест за јакоста на распрснување се користи еластична дијафрагма за оптоварување на ткаенината. Притисокот на хидрауличната течност зад дијафрагмата е мерка за јакоста на ткаенината, што значи, јакоста на распрснување се мери во единици на притисок. Општата шема на овој инструмент е прикажана на слика 14.1. Бидејќи е потребен одреден мерлив притисок за да се надуе дијафрагмата тој факт треба да се има во предвид и да се изврши корекција при презентирањето на резултатите. Обично тоа се прави на тој начин што се мери висината на дијафрагмата за време на тестот. Потоа, по тестот, без примерок, се надува до истата висина и се отчитува притисокот кој за тоа е потребен. Овој притисок треба да се одземе од оној што е отчитан при распрснувањето во текот на тестот:

$$P_{\text{распрснување}} = P_{\text{тестот}} - P_{\text{дијафрагма}}$$

Релацијата меѓу висината на дијафрагмата и истегнувањето на ткаенината е многу комплексна така што таа не се зема за пресметување на истегнувањето на ткаенината.

14.1. ТЕСТ НА РАСПРСНУВАЊЕ СО ДИЈАФРАГМА

Британскиот стандард BS 4768 *Method for the determination of the bursting strength and bursting distension of fabrics*, ја објаснува процедурата при која ткаенината што се тестира се прицврстува над гумената дијафрагма со помош на кружен прстен а од долната страна на дијафрагмата се делува со растечки хидрауличен притисок се додека примерокот не се распрсне, слика 14.1.



Слика 14.1. Инструмент за испитување на јакоста на распрснување со дијафрагма

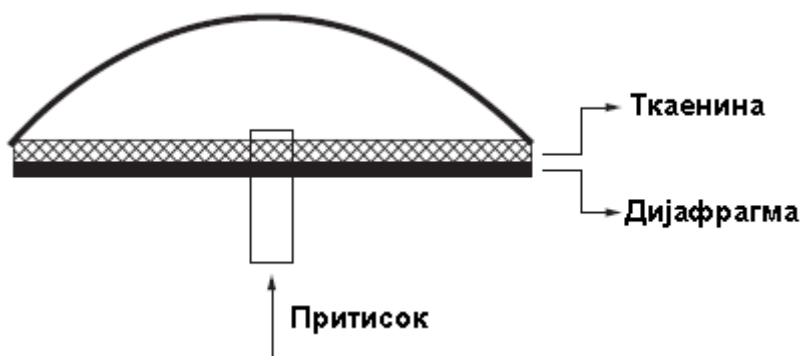
Се користат два типа на примероци така што напрегнатата површина е со дијаметар или 30 mm или 113 mm. Примерокот со поголем дијаметар се распрснува при помал притисок, приближно за една петтина од вредноста на помалиот примерок. Не постои директна меѓусебна споредливост на резултатите од овие два примероци. Стандардот наложува да се тестираат 10 примероци. При тестот притисокот се зголемува со таква брзина која ќе овозможи примерокот да се распрсне за 20 ± 3 s. Истегнувањето на дијафрагмата се запишува и потоа се изведува уште еден тест без примерок до истата вредност на истегнување на дијафрагмата и при тоа отчитаниот притисок

се одзема од претходниот за да се добие притисокот на распрснување само на ткаенината.

Следниве мерења се ставаат во тест извештајот

- Средната јакост на распрснување во kN/m^2
- Средното истегнување при распрснување

Недостаток на овој метод е ограниченото истегнување кое може да се постигне кај ткаенината со оглед дека тоа зависи од истегнувањето на дијафрагмата. На сликата 14.2 е прикажан обликот на дијафрагмата во текот на изведувањето на тестот.



Слика 14.2. Истегнувањето на ткаенината зависи од истегнувањето на дијафрагмата

Плетените ткаенини (плетенините) имаат често пати при тестот големо издолжување кое дијафрагмата секогаш не може да го постигне.

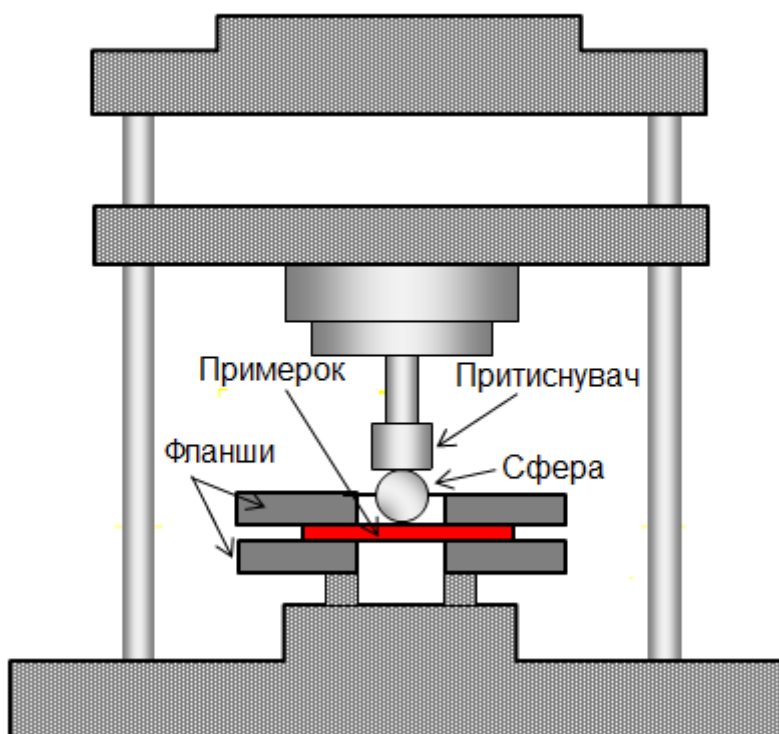
14.2. ТЕСТ НА РАСПРНСУВАЊЕ СО СФЕРА

Кај овој тест нема лимит на интензитетот на истегнување на примерокот како кај тестот со дијафрагма и е погоден за плетени ткаенини. Се изведува на стандардна машина за испитување на затегање со користење на специјална приправа. Примероците со дијаметар од 12,5 cm се земаат од репрезентативен дел на ткаенината, случајно, од повеќе различни места, но не смеат да бидат поблиску од 20 cm од работ на ролната. Примероците се прицврстуваат со кружни фланши, кои се со внатрешен дијаметар од 44,5 mm, слика 14.3. Поставката на тестот е прикажана на слика 14.4. Примерокот се поставува во фланшите (кружни клеми) што е можно порамно без згужваност или тензија и фланшите се стегаат со кружните завртки, слика 14.3. Потоа се центрира сферата во центарот на примерокот.



Слика 14.3. Припрема на примерокот од ткаенината за тестирање со сфера

При тестирањето полирана челична сфера со дијаметар од 25 mm притиска врз порамнетата ткаенина и при тоа се мери силата. Резултатите не се споредливи со оние од тестот со дијафрагма бидејќи тие се мерат во единици за сила а не во единици сила врз единица површина како при овој тест.



Слика 14.4. Поставка на машината за испитување на распрснување со сфера

Машината се пушта да работи со максимална брзина не поголема од 30 mm/min се додека ткаенината не се распрсне под дејство на сферата. На машината се

отчитува притисокот при кој ткаенината се распрснува и таа вредност се зема како резултат од тестот..

§15. ЈАКОСТ НА ШЕВОТ

Откажувањето на шевот ја прави облеката неупотреблива иако ткаенината може да биде во добра состојба. Може да има низа причини за откажување на шевот:

1. Шивачкиот конец или се истрошува или се кине пред да се истроши/скине ткаенината.
2. Предивото од кое е направена ткаенината или е скинато или оштетено од иглата, слика 15.1а.
3. Доаѓа до пролизгување на шевот, слика 15.1б.

Пролизгувањето на шевот е карактеристично својство на ткаенините и е составна карактеристика на спецификациите на ткаенините за мебел и облека. Другите две причини, спомнати погоре се специфични за изработката и зависат од употребената шивачка машина, употребениот шивачки конец, брзината на шиене, големината на шивачката игла, должината на шевот и др.

Јакоста на шевот, иако може да се измери на сличен начин како јакоста на затегање на ткаенината, зависи од многу фактори за да може еднозначно да биде определена. Во секој случај, јакоста на шевот се испитува на машина за испитување на затегање при што се мери силата при која доаѓа до кинење на шевот. Се испитуваат најмалку по пет примероци земени во насока на основата и јатокот, а како резултат се зема средната аритметичка вредност.



(а)



(б)

Слика 15.1. Откажување на шевот: (а) кинење на предивото, (б) пролизгување на предивото

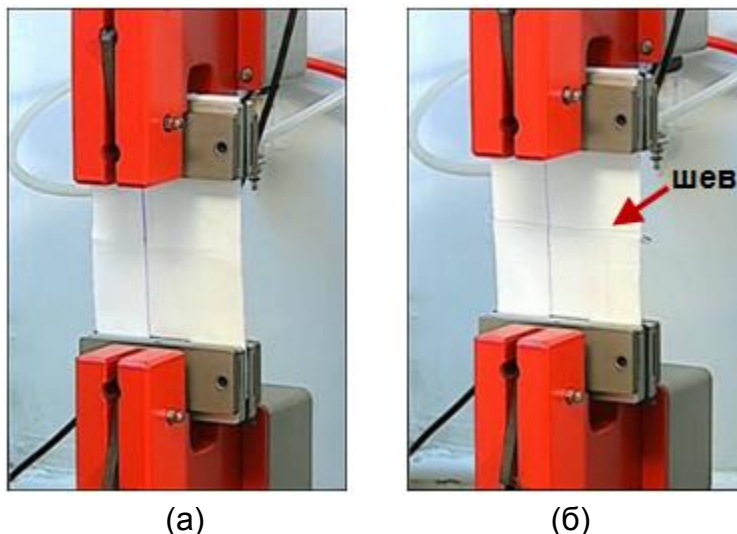
15.1. ПРОЛИЗГУВАЊЕ НА ШЕВОТ

Пролизгувањето на шевот е состојба кога шевот на ткаенината се отвора под оптоварување, слика 15.1б. Некои од тие отвори можат да се затворат по

престанувањето на дејството на оптоварувањето но некои од нив можат да претставуваат перманентна деформација. Прилизгувањето на шевот е проблем на ткаенината посебно за оние од лизгаво предиво и за оние кои имаат отворена структура или пак каде бројот на вкрстувањата на предивото по основа и јаток е мал. Последниве фактори значат дека еден сет на предиво може лесно да се извлече од другите предива. Растојанието на шевот од работ на ткаенината, типот на шевот, како и густината на бодовите се фактори кои влијаат врз пролизгувањето но при тестирањето тие се држат константни. Насоката на тестот за пролизгување на шевот често се дава како јаток преку основа кога предивото по јаток се влечи преку предивото по основа; во овој случај шевот е во насока на јатокот. Спротивната насока е основа преку јаток. Постојат три различни методи за испитување на пролизгувањето на шевот и сите три имаат свои недостатоци.

Првиот метод е кога стандардниот шев е подложен на константно оптоварување и се мери отворот на шевот. Алтернативна варијанта е да се измери оптоварувањето при кое се постигнува одредено отворање на шевот.

Вториот метод е кога се испитуваат примероци од ткаенината со шев, слика 15.2б, и без шев, слика 15.2а, и при тоа се црта кривата сила – издолжување. Разликата меѓу двете криви се зема како пролизгување на шевот.

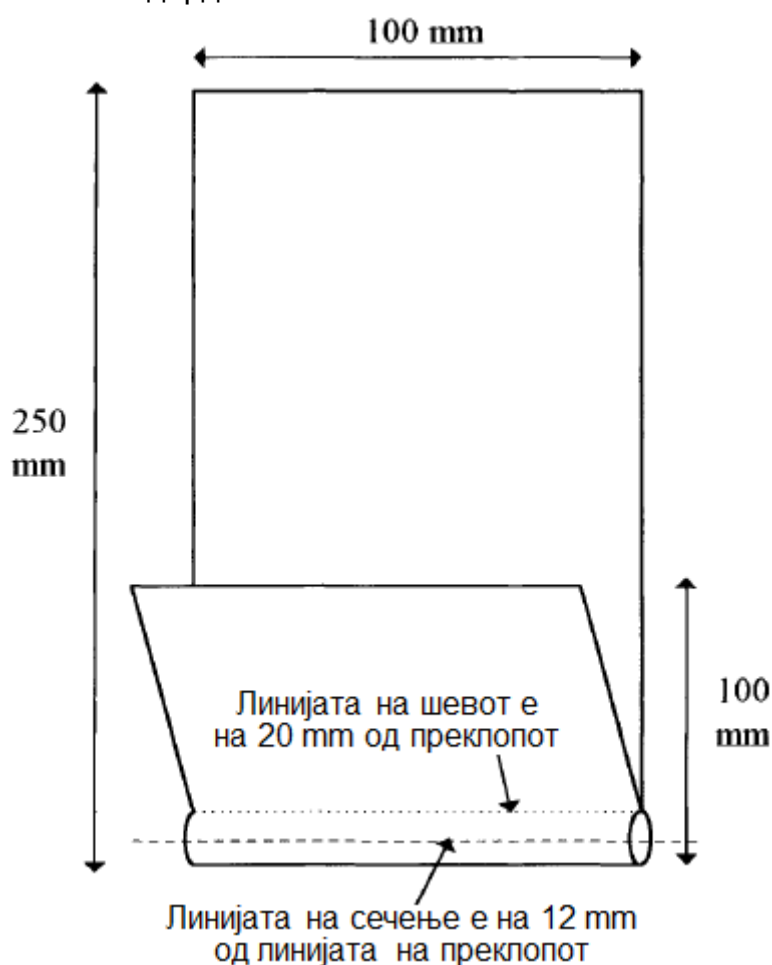


Слика 15.2. Испитување на пролизгување на шевот, (а) примерок без шев, (б) примерок со шев

Третиот метод го отфрла шевот како фактор но ја мери силата која е потребна да се влече сет од пинови низ ткаенината.

15.1.1. Тестирање на пролизгувањето на шевот

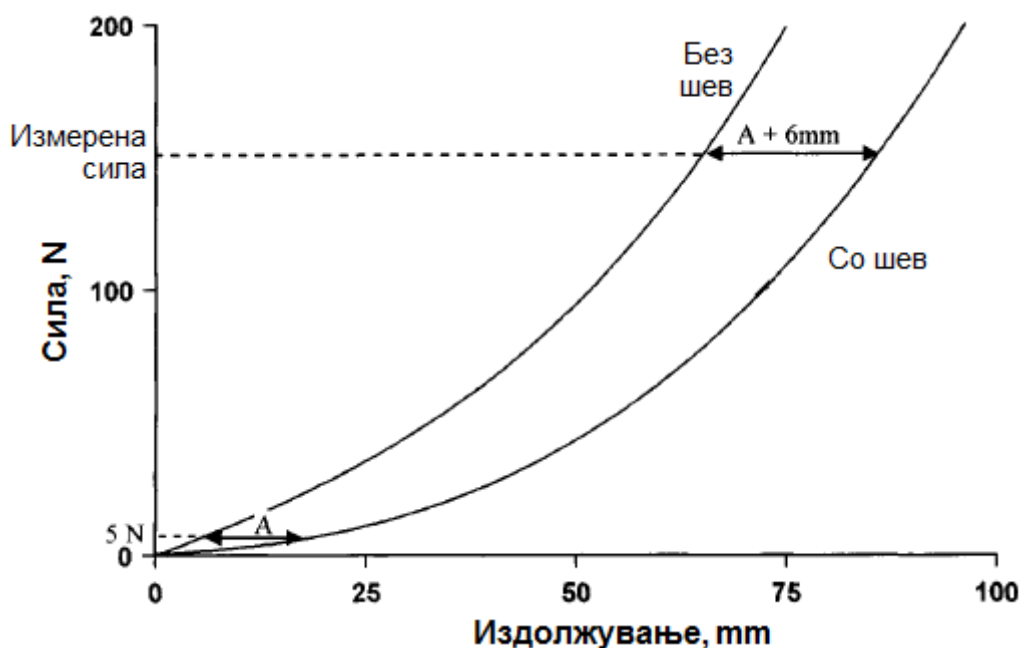
Повеќето стандарди за испитување се врз база на вториот метод. Британскиот стандард *BS 3320 1988 Method for determination of slippage resistance of yarns in woven fabrics: seam method* препорачува по пет примероци по основа и по јаток со димензии 100 mm x 250 mm. Секој примерок е преклопен 100 mm од крајот на кој се прави шев на растојание од 20 mm од линијата на преклопот користејќи специјален шивачки конец и поставка на шивачката машина како што е специфицирано во стандардот.



Слика 15.3. Изглед на примерокот за тестот на пролизгување на шевот

Изгледот на примерокот е прикажан на слика 15.3. Откако ќе се направи шевот, преклопот се сече надолжно на растојание од 12 mm од линијата на преклопот така што шевот останува на 8 mm од линијата на работ на пресекот. За тестот се користи стандардна (универзална) тест машина со клеми од 25 mm, а мерната должина е 75 mm. Пред тестот примерокот се сечи на два дела (по ширина), едниот е со шевот а другиот е без шев и важно е што двата дела го содржат истиот сет на предива по основа или јаток. Прво, во машината се истегнува

примерокот без шев, слика 15.2а, при оптоварување од 200 kN и се црта кривата сила – издолжување. Потоа, на истиот начин, се тестира примерокот со шев, слика 15.2б, при што се поставува кривата сила – издолжување да почне од истата нулта позиција како во претходниот тест. Хоризонталното растојание меѓу кривите, слика 15.4, е заради отворањето на шевот. Со цел да се најде силата што ќе го отвори шевот до одредена вредност, се мери раздвоеноста на



Слика 15.4. График на пролизгувањето на шевот

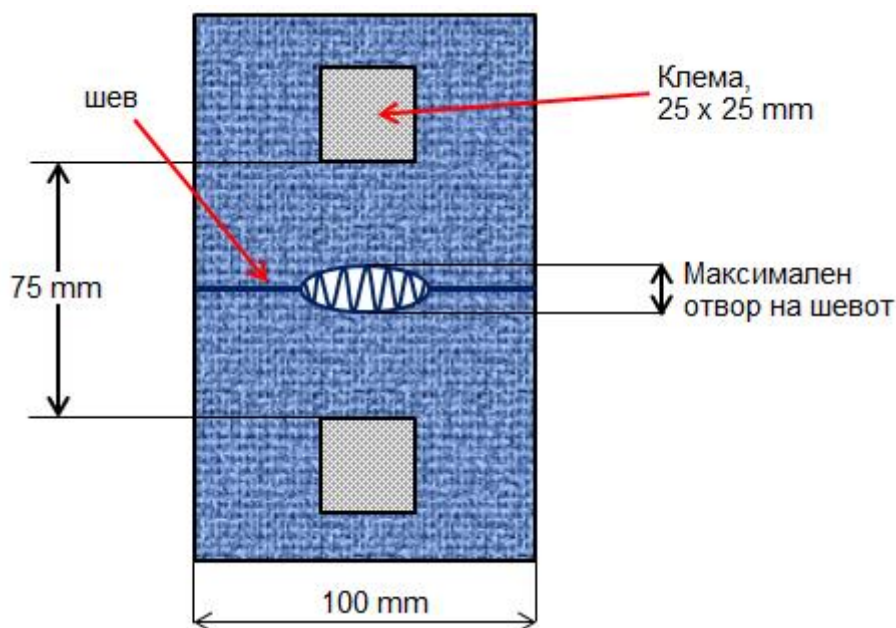
кривите при сила од 5 N и оваа вредност се додава на специфицираната вредност (која е обично 6 mm). Потоа на графикот се наоѓа точката која одговара на ова растојание т.е. вредност (види слика 15.4) и вредноста на силата се отчитува на ординатата. Ако кривите не го постигнат специфицираното растојание под 200 N, како резултат се зема „повеќе од 200 N“

15.1.2. Тестирање со константно оптоварување

При овој метод се зема лента од ткаенината, се преклопува и се прошива по ширина. Потоа шевот се подвргнува на дејство на сила под прав агол со користење на граб клеми (граб клемите се потесни од ширината на примерокот со што се избегнува ефектот на работ од ткаенината врз резултатите) и се мери интензитетот на отворање на шевот за дадена сила. Силата со која се оптоварува примерокот не се поставува спрема нејзината површинска маса, тука спрема крајната употреба на ткаенината. За малку напрегнати конфекциски предмети како што се женските фустани, за перници и навлаки силата е 80 N; за шевови кои се подложни на поголеми оптоварувања, капуту, одеа, работни

комбинезони – 120 N, а за крајна употреба каде има големо истегнување на шевот на пример кај мебел штофот се користи сила од 175 N.

За тестирање се користат пет примероци во насока на основата и пет во насока на јатокот. Примероците се прицврстуваат во тест машината со помош на 25 mm широки клеми, така што само централниот делови од ткаенината и шевот се напрегаат, слика 15.5; димензиите на примерокот се различни кај различни стандарди.



Слика 15.5. Граб тест за пролизгување на шевот

Брзината на покачување на оптоварувањето е 50 mm/min. Оптоварувањето се зголемува до 80, 120 или 175 N во зависност од крајната употреба на ткаенината и се држи на таа вредност 2 минути. Потоа, оптоварувањето се намалува на 2,5 N и се држи уште 5 минути при тоа оптоварување. Кај примерокот, потоа, се мери отворот на шевот во најширокото место. За резултат се зема средната аритметичка вредност во насока на јаток и основа од сите пет примероци.

§16. АБРАЗИВНА ОТПОРНОСТ

Абразијата ја дефинираме како абеење на ткаенината кога се трие со друга површина. Ткаенините, при својата употреба, се изложени на абразија што може да резултира во нивно литење, ветвење, оштетување и загуба на перформансите. Абразијата може да настане на многу начини вклучувајќи триење на ткаенина со ткаенина при седење, ткаенина со земја при лазење, абеење на мебел штофот со песок и нечистотија кои се зафатиле во него, и е многу тешко да се направи корелација меѓу условите на абразија на ткаенините при носење или употреба со лабораториските тестови. Заради тоа постојат

многу разни изведби на машини за тестирање на абразијата и методи на тестирање.

16.1. ФАКТОРИ ШТО ВЛИЈААТ ВРЗ АБРАЗИВНАТА ОТПОРНОСТ

Резултатите од разните влијателни фактори за абразивната отпорност на ткаенините најчесто се контрадикторни. Тоа е затоа што експериментите се изведуваат при многу различни услови а особено заради различните режими на абразија. Заради тоа резултатите не се споредливи а често се спротивни едни од други. Најдено е дека следниве фактори влијаат врз абразијата.

Типот на влакната

Се смета дека способноста на влакната да издржат повторлива дисторзија е основен фактор за нивната абразивна отпорност. Затоа се смета дека големото издолжување, еластичниот повраток и работата за кинење се поважни фактори отколку што е големата јакост. Генерално се смета дека најлонот има најдобра абразивна отпорност. Полиестерските и полипропиленските влакна исто така имаат добра абразивна отпорност. Најдено е дека блендирањето или на најлонот или на полиестерот со волна или памук ја зголемува нивната абразивна отпорност но тоа е на штета на нивните особини. Акрилните и модакрилните влакна имаат мала отпорност на абразија додека волната и памукот имаат умерена абразивна отпорност. Вискозните и ацетатните влакна имаат најмала абразивна отпорност. Меѓутоа, синтетичките влакна се произведуваат во многу различни варијанти па кај нив не можеме да зборуваме за генерална абразивна отпорност како карактеристика на типот на влакната.

Особините на влакната

Една од последиците на абразијата е постепено отстранување на влакната од предивото. Според тоа, факторите кои влијаат врз кохезивноста на предивото исто така ќе влијаат врз неговата абразивна отпорност. Ако ткаенината е направена од подолги влакна тие и даваат подобра абразивна отпорност од кратките влакна бидејќи тие потешко се отстрануваат од предивото. Од истите причини предивото од континуирани филаменти е повеќе отпорно на абразија отколку истото тоа предиво направено од кратки влакна. Зголемувањето на дијаметарот на влакната до извесна граница исто така ја зголемува абразивната отпорност.

Број на завои

Најдено е дека постои оптимален број на завои на предивото кој дава најдобра абразивна отпорност. При мал број на завои влакната лесно можат да бидат

отстранети од предивото со што тоа постепено се намалува во дијаметарот. При голем број на завои влакната се држат поцврсто па предивото станува покрuto, заради што не може да се порамни или прилагоди на дејството на притисокот кога е подложено на абразија. Токму ова прилагодување (или дисторзија) е она што му овозможува на предивото да се спротивстави на абразијата. Исто така се смета дека абразивната отпорност се зголемува со зголемувањето на линеарната густина при константна површинска маса на ткаенината.

Структура на ткаенината

Брановидноста на предивото во ткаенината има влијание врз тоа дали повеќе ќе се абрадира основата или јатокот. Ткаенините, кај кои брановидноста е рамномерно распоредена меѓу јатокот и основата даваат најдобра отпорност бидејќи оштетувањето рамномерно се дистрибуира меѓу нив. Ако еден сет на предива е доминантно на површината тогаш тој сет најмногу ќе се истроши; овој ефект може да се искористи за да се заштитат носечките влакна.

Постои оптимална конструкција на преплетот од ткаенините за најдобра абразивна отпорност. Колку има повеќе предива по сантиметар во ткаенината толку помалку сила секое предиво ќе поднесе. Меѓутоа, тоа има и своја негативна страна, ако предивата се збиени едно врз друго, тогаш не ќе можат да се акомодираат т.е. прилагодат на силата и на тој начин да ја намалат абразијата.

16.2. ТЕСТОВИ ЗА АБРАЗИЈА

16.2.1. Фактори што влијаат врз абразијата

Постојат мноштво на абразивни методи, но за жал, меѓу нив не постои никаква корелација. Методите кои станаа стандарди не значи дека се и најдобрите. Во фактори кои влијаат врз резултатите на абразивниот тест се следниве:

Тип на абразија

Абразијата може да биде планарна (во рамнина), флексибилна и ивична или комбинација на овие фактори.

Тип на абразив

Се користат многу различни абразиви во тестовите за абразија вклучувајќи стандардни ткаенини, челични плочки, абразивна хартија или камења (алуминиум оксид или силициум карбид). Интензитетот и методата на абразија се различни за секој вид на абразив. За тестот да одговара на експлоатационите

услови треба да се користи абразив кој најмногу одговара на оној со кој текстилот е во допир при употребата. Основна грижа при тестирањето е абразивот да биде константен во текот на целиот тест. Многу е веројатно дека и абразивот се троши во текот на тестот и ги менува своите абразивни карактеристики. Друга грижа е што абразивот може да биде препокриен со материјал од тестираниот примерок, на пример со финишот од ткаенината или површинската облога, кои делуваат како лубриканти, со што се смалува неговата абразивност.

Притисок

Притисокот меѓу абразивот и примерокот има влијание врз интензитетот и брзината на абразија. Најдено е дека различните притисоци значително влијаат врз резултатите од тестот кога се користи ист абразив и ист примерок. Забрзаното трошење на тест примероците заради тестирање при зголемен притисок може да доведе до погрешни заклучоци за однесувањето на ткаенината. На пример, забрзаното трошење на материјалот не дозволува релаксација на влакната и ткаенината, како што е случај при нормална употреба.

Брзина

Забрзаното триење над она кое е присутно при секојдневната употреба повторно доведува до опасност од забрзано трошење на материјалот. Забрзаното триење може да доведе до зголемување на температурата на примерокот; тоа има влијание врз физичките особини особено кај термопластичните влакна.

Затегнатост

Битно е затегнатоста на тестираните примероци во текот на тестот да биде секогаш константна бидејќи таа го детерминира степенот на мобилност на примерокот под дејство на абразивот.

Насока на абразијата

Кај многу ткаенини абразивната отпорност во насока на основата е различна од онаа по јаток. Идеално би било кога триечките движења на абразивната машина би биле такви што ќе го елиминираат ефектот на насоката.

Методи на тестирање

Има два пристапи за оценување на ефектите од абразија:

1. Да се трие (абрадира) примерокот се додека не се стигне до предодредениот дефиниран крај. Под “дефиниран крај” можеме да

подразбереме кинење на две предива или создавање на дупка при што се мери времето или бројот на циклусите за тоа да се постигне.

2. Да се трие за определено време или определен број на циклуси и да се изврши проверка на ткаенината од аспект на промената на изгледот, загуба на маса, намалување на јакоста, промена на дебелината или друга релевантна карактеристика.

Првиот пристап е многу логичен за проценка на абразивната отпорност, но должината на триење на тестот е неопределена и бара постојано да се проверува примерокот дали го достигнал дефинираниот крај. Вториот пристап ветува попрецизни мерења но и кога примерокот ќе се истроши до создавање на дупка, промената во особините (на пример загубата на маса) може да биде незначителна.

Меѓутоа, ниеден од горните пристапи не дава резултати кои ќе покажат линеарна или директна или било каква друга меѓусебна споредба.

16.2.2. Мартиндеил тест

Мартиндеил (*Martindale*) тестот се состои од неколку режими на изведување во зависност од тоа што се зема како критериум за проценка на абразијата: дали е тоа појава на дупка, загуба на маса или промена на изгледот.

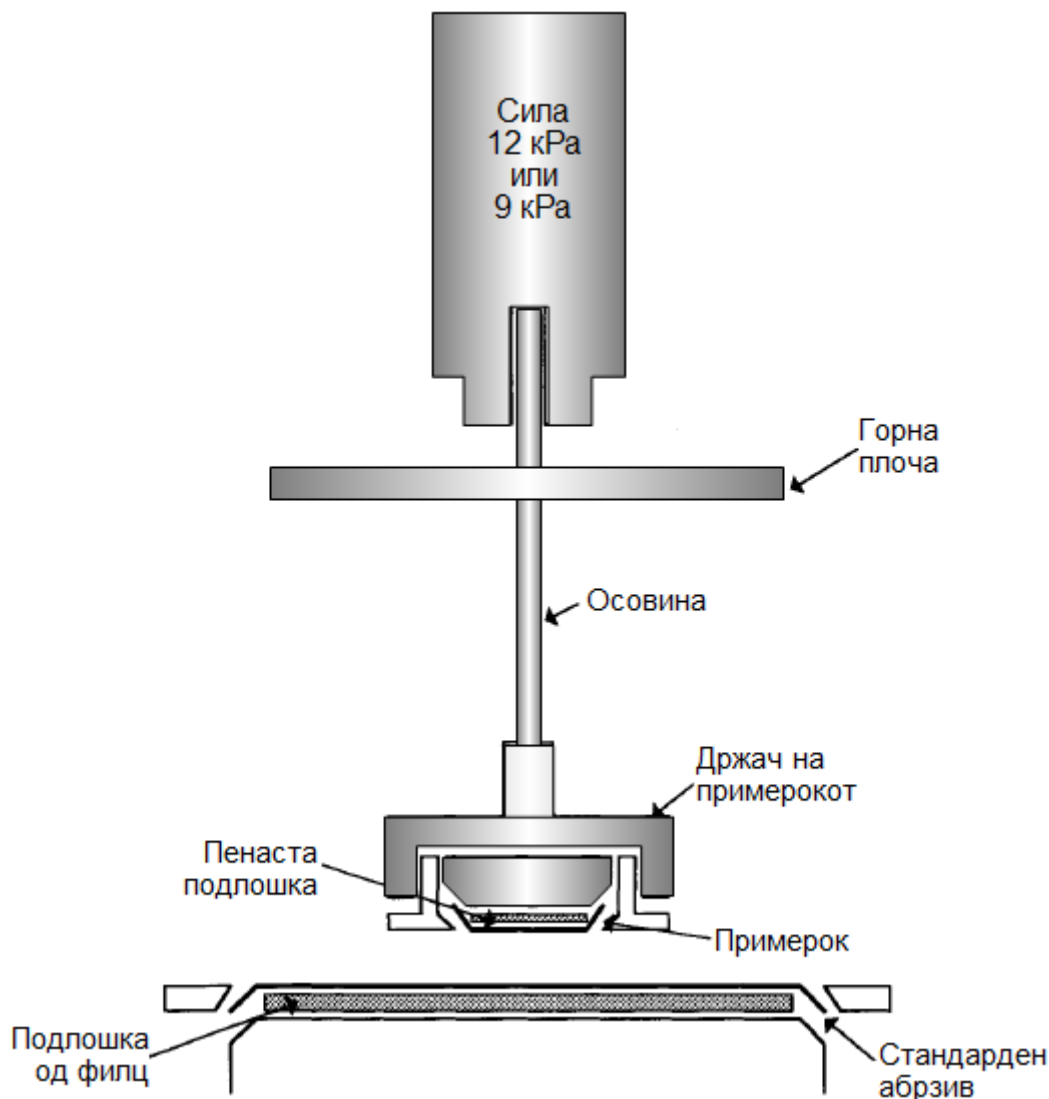
На сликата 16.1 е прикажан инструментот за тестирање, кој може истовремено да тестира повеќе примероци (некои изведби на инструментот и до осум) истовремено. За тестирање се користат кружни примероци кои се абрадираат со стандардизирана ткаенина при дефиниран притисок. При тестирањето абразивот врши сложени хармонични движења на пример во вид на бројот 8 врз тестираниот примерок.



Слика 16.1. Инструмент за испитување на абразија според Martindale

Резултатите од тестот не смеат да се користат за компарација на ткаенини од различни влакна или различни конструкции.

Тестот се изведува на тој начин што кружни примероци од ткаенина со дијаметар од 38 mm се сечат од различни места на ткаенината и се прицврстуваат со



Слика 16.2. Шематски приказ на поставката од Мартиндеил тестот

помош на кружни прстени на базата од инструментот и остануваат статични во текот на тестот. Примероците треба да бидат апсолутно рамни во држачот. За ткаенини полесни од 500 g/m² под примерокот се става подлошка од тврда пенеста пластика. Абразерот се оптоварува со сила од 12 или 9 кРа во зависност од спецификацијата за ткаенината, слика 16.2. Пред секој тест и после 50000 циклуси (ако продолжува тестот над тој број на циклуси) се става нов стандарден абразив. Примерокот се проверува во одредени интервали, без да се вади од држачот, за да се види дали има скинато две предива или дали има дупка. Проверката на примерокот се врши според табелата 16.1.

Индивидуалните вредности за бројот на циклусите до завршеток на тестот за сите примероци (се тестираат 4 примероци) се даваат во извештајот како и нивната просечна вредност.

Табела 16.1.Интервали на проверка на примерокот за Мартиндеил тест на абразија

Број на циклуси	Интервали на проверка
до 5000	на секои 1000
5000 – 20000	на секои 2000
20000 – 40000	на секои 5000
над 40000	на секои 10000

16.2.3. Вајзенбек тест

Вајзенбек (*Wyzenbeek*) тестот е позастапен во САД за разлика од Мартиндеил - кој е доминантен во Европа. При овој тест се користи осцилирачки цилиндар препокриен со абразив кој трие врз затегнатите и оптоварени примероци кој се поставуваат во рамката на инструментот. На сликата 16.3а претставен е инструментот без примероци со отворена (крената) рамка во која има стегачи за 4 примероци. Примероците, слика 16.4, се прицврстуваат во четирите гнезда од рамката, и потоа рамката се спушта врз осцилирачкиот цилиндер, слика 16.3б.



(а)



(б)

Слика 16.3. Вајзенбек тестер за абразија

Како абразив се користи стандардизирана памучна ткаенина со платнен преплет или жичена мрежа. Цилиндарот трие напред-назад по примерокот и еден таков од се смета за еден циклус. Примероците се проверуваат после секои 5000 циклуси, и ако ткаенината е добра, се подвргнуваат на уште еден сет од 5000 циклуси, итн. Кога истрошеноста на ткаенината е очигледна или кога ќе се скинат две предива тестот се прекинува а ткаенината се рангира со последната

проверка што ја поминала. Тоа значи, на пример, ако ткаенината не покаже очигледна истрошеност по првиот сет од 5000 циклуси, а покаже во вториот сет од 5000 циклуси се рангира дека издржува 5000 циклуси.



Слика 16.4. Изглед на примерокот за Вајзенбек тестот

Тестовите на абразија се посебно значајни за ткаенините кои се користат за тапазирање на мебел каде барањата за абразивната отпорност се ригорозни, особено за јавни установи, болници, студентски домови, кино сали бидејќи на овие места ткаенините се изложени на постојано триење.

За употреба во вакви установи ткаенината треба да ги задоволи следниве критериуми:

Јавна употреба	Вајзенбек (циклуси)	Мартиндеил (циклуси)
Нормална употреба	15000	20000
Жестока употреба	30000	40000

За домашна употреба критериумите се знатно полабави:

Домашна употреба	Вајзенбек (циклуси)	Мартиндеил (циклуси)
Лесна употреба	6000	9000
Нормална употреба	9000	15000
Жестока употреба	15000	≥ 30000



Сите тестови кои се вршат на текстилните материјали се на претходно кондиционирани примероци, 24 часа на температура од 20 °C и релативна влажност од 65 %

§17. ОТПОРНОСТ НА СВИТКУВАЊЕ

17.1. ТКАЕНИНИ

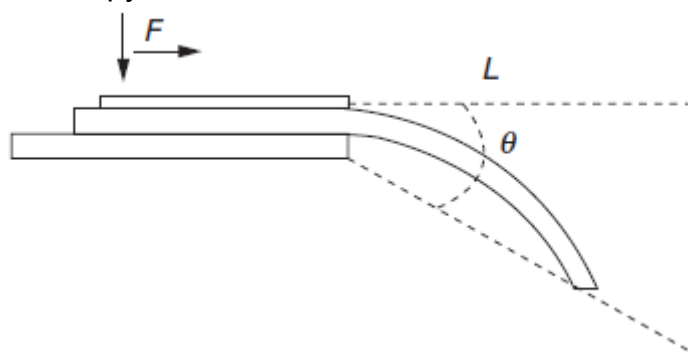
Со тестот на свиткување се мери интензитетот на свиткување на текстилните материјали. Постапката на тестирање може да варира од остро свиткување на

материјалот до негово свиткување преку голем радиус и мала амплитуда. Особините на свиткување на ткаенините влијаат врз нивниот естетски изглед како и врз комфорот.

Должината на свиткување претставува мерка за интеракцијата меѓу тежината и крутоста на ткаенината. Таа ја рефлектира крутоста на ткаенината кога е свиткана во една рамнина под дејство на гравитационата сила и претставува една компонента на драперливоста. Затоа, должината на свиткување уште се нарекува крутост на драперливоста.

Крутоста на свиткување се пресметува од должината на свиткување и површинската маса. Ткаенините со мала крутост на свиткување можат да покажат набор на шевот а и сечењето може да им биде проблематично. Тие тешко се манипулираат на автоматизирана производна линија.

Должината на свиткување зависи од тежината на ткаенината па затоа е важна компонента на драперливоста на ткаенината кога виси под дејство на сопствената тежина. Крутоста на свиткување на ткаенините многу зависи од нивната дебелина. Колку е подебела ткаенината толку е покрута ако сите останати фактори останат исти. Модулот на свиткување не зависи од димензиите на тест примерокот така по аналогија со цврстите материјали тој е мерка за „вистинската крутост“.



Слика 17.1. Принцип на мерење на свиткувањето по метод на конзола; L = проекција на должината од ткаенината, θ = аголот за кој ткаенината се свиткува

Еден, од повеќето методи за мерење на свиткувањето, е методот на конзола при кој се користи Ширлиев тест инструмент (*Shirley stiffness tester*). При тестот се користи правоаголна лента од ткаенината со димензии 25 mm x 200 mm. Едниот крај од примерокот е прицврстен на хоризонтална платформа, а другиот крај се остава да виси и да се свитка под дејство на сопствената тежина, слика 17.1. Должината на свиткување е онаа должина при која врвот на примерокот ќе ја допре закосената, под 41,5 степени, рамнина (на сликата тоа е косата испрекината линија). Оваа должина на инструментот се мери од калибрираната скала монтирана на платформата во mm. Колку е поголема должината на свиткување толку е поголема крутоста на ткаенината. Модулот на свиткување (q) и флексуралната (свиткувачката) крутост (G) можат да се пресметаат од должината на свиткување, површинската маса и дебелината на ткаенината:

$$G = 9,8 \cdot 10^{-6} ML^3 (\mu Nm)$$

$$q = \frac{12G \cdot 10^3}{t^3} (N/m^2)$$

каде: L = должина на свиткување во mm; M = површинска маса во g/m²; t = дебелината на ткаенината во mm.

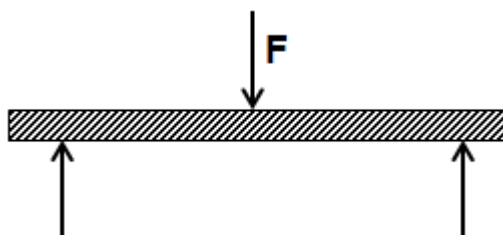


Слика 17.2. Ширлиев инструмент

На сликата 17.2 претставен е комерцијален Ширлиев инструмент.

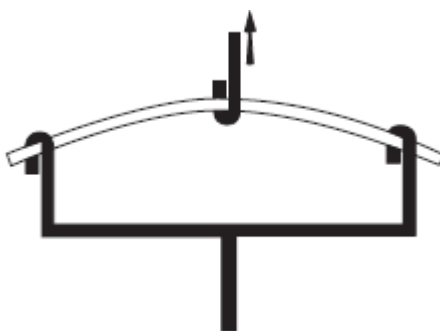
17.2. ВЛАКНА

Генерално, јакоста на свиткување претставува сила која е потребна да свитка крута греда која е потпрена во три точки, слика 17.3. Податоците за јакоста на свиткување или флексуралната јаконост често се користат за избор на материјали за делови кои во текот на употребата се изложени на свиткување. Модулот на свиткување се користи како показател за крутоста на материјалот при свиткување.



Слика 17.3. Шема на флексурално напрегање во три точки

Бидејќи физичките особини на многу материјали, особено термoplastите, варираат во зависност од амбиентната температура, понекогаш е многу посоодветно мерењето да се врши на работната температура на материјалите. Со оглед дека текстилните влакна не можат сами, без потпора, да се одржуваат во хоризонтална положба, за фундаменталните истражувања на нивните флексуларни особини се користат посебно прилагодени поставки за тестирање како што е прикажано на сликата 17.4.



Слика 17.4. Адаптација на машината за испитување на затегање за тестирање на јакоста на свиткување на погруби влакна

Флексуралната крутост може да се дефинира како момент (на спрег од сили) кој е потребен за да го свитка влакното. Математички, флексуралната крутост е претставена со следнава равенка:

$$\text{Флексурална крутост} = \frac{1}{4\pi} \frac{\eta E_s T^2}{\rho}$$

каде:

η = фактор на обликот,

E_s = специфичен модул на смолкнување

T = линеарна густина на влакната

ρ = густина на влакната

Оваа равенка е во конзистентни мерни единици.

Во SI:

E_s = специфичен модул на смолкнување и претставува однос на Јанговиот модул на влакното и неговата густина:

$$E_s = \frac{E}{\rho} = \left[\frac{N/m^2}{kg/m^3} = \frac{N \cdot m}{kg} \right]$$

Линеарната густина T има единици, kg/m; густината ρ , kg/m³.

Според тоа флексуралната крутост ќе има единици N·m².

Ако сакаме да работиме во попрактични единици тогаш E_s го изразуваме во N/tex; T - во tex а ρ - во g/cm³. Во овој случај равенката добива облик:

$$\text{Флексурална крутост} = \frac{1}{4\pi} \frac{\eta E_s T^2}{\rho} \cdot 10^{-3} (N \cdot mm^2)$$

Специфичната флексурална крутост може да се дефинира како однос на флексуралната крутост и линеарната густина. Математички, специфичната флексуралната крутост е претставена со следнава равенка (тогаш $T=1$):

$$\text{Специфична флексурална крутост} = \frac{1}{4\pi} \frac{\eta E}{\rho}$$



Што е фактор на обликот?

Тоа е поим од науката за материјалите поврзан со компресијата или дефлексија на материјалот кога неговиот облик е под дејство на оптоварување. Факторот на обликот, во суштина, индицира каков ефект обликот на некое тело има на тоа колку многу телото ќе се деформира кога ќе се оптовари. Кај текстилните влакна факторот на обликот претставува однос меѓу обемот (периметарот) на влакното и обемот на кружното влакно со иста линиска густина по филамент

Фактор на обликот е број кој го дефинира обликот на влакното. Ако $\eta=1$ тоа значи дека обликот (попречниот пресек) на влакното е кружен.

Ако:

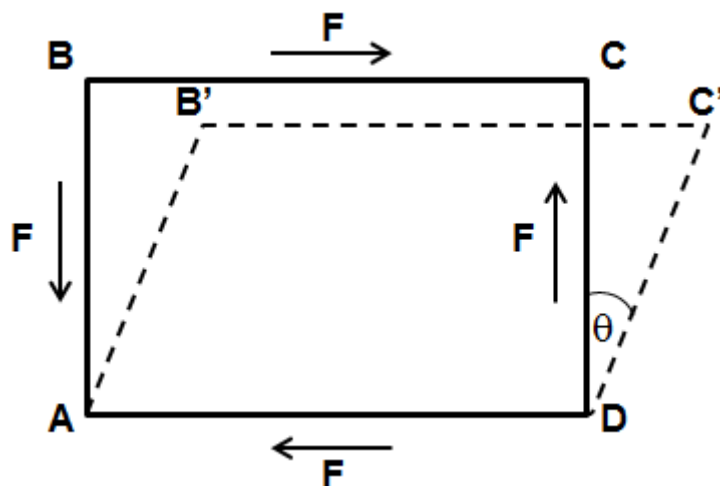
$\eta > 1$, тоа значи дека обликот на влакната е зголемен.

$\eta < 1$, тоа значи дека обликот на влакната е намален.

§18. СМОЛКНУВАЊЕ НА ТКАЕНИНИ

Однесувањето на ткаенината кога е под дејство на сили на смолкнување претставува еден од факторите кој одредува какви перформанси ќе има кога ќе биде изложена на комплексните деформации при употребата. Способноста на ткаенината да се деформира на смолкнување е прави различна од другите тенки планарни материјали како што се хартијата или пластичните филмови. Токму оваа карактеристика и овозможува да претрпува покомплексни деформации од дво-димензионалното свиткување и така да се прилагодува на контурите на телото кога е процесирана во облека.

Однесувањето при смолкнување на текстилните материјали не може да биде анализирано со техниките кои се применуваат за хомогени материјали, меѓутоа, сепак постои симплифицирана анализа. Основната ситуација е прикажана на слика 18.1; правоаголен елемент од материјалот ABCD е подвргнат на дејство на парови од еднакви но спротивни напрегања, F , кои дејствуваат паралелно на страните од елементот. Во случај на едноставно смолкнување се претпоставува дека елементот се деформира во позиција прикажана со AB'C'D



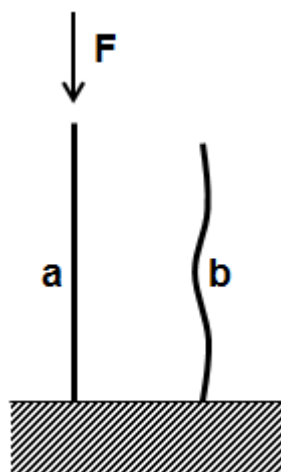
Слика 18.1. Дисторзија заради смолкнување

на таков начин да површината останува иста. Деформацијата на смолкнување е дефинирана како тангенс на аголот θ . За еластични материјали постои линеарна релација меѓу напрегањето на смолкнување, F , и деформацијата на смолкнување, $\tan \theta$.

$$F = G \cdot \tan \theta$$

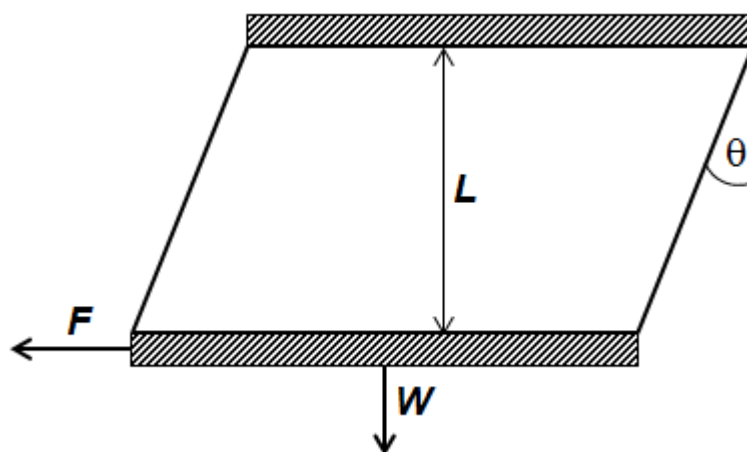
каде G = модул на смолкнување.

Меѓутоа, смолкнувањето кое е најдено кај ткаените не е, генерално, едноставно смолкнување со константна површина ниту пак се совпаѓа со било кој друг едноставен теоретски модел каде страните на оригиналниот правоаголникот остануваат исти.



Слика 18.2. Илустрација на ефектот на свивање, (b), кога ткаенината е подложена на компресија во рамнина, (a)

Силите кои дејствуваат кога материјалот се смолкнува, како што е прикажано на сликата 18.1, се еднакви на истегнувањето кое дејствува долж дијагоналата AC и соодветната компресија која дејствува долж дијагоналата BD. Во пракса, овие сили предизвикуваат проблеми во мерењето на особините на смолкнување бидејќи ткаенината ако е подвргната на компресивни сили во рамнина на материјалот ќе има тенденција да се свие при многу мали вредности, слика 18.2. Можно е да се одложи почетокот на свивањето ако ткаенината се доведе под напрегање кое ќе се спротивстави на компресивните сили. Методот кој се користи за мерење на смолкнувањето во симплифицирана форма е прикажан на сликата 18.3. При овој метод ткаенината се држи круто со клеми



Слика 18.3. Шема на методот на смолкнување

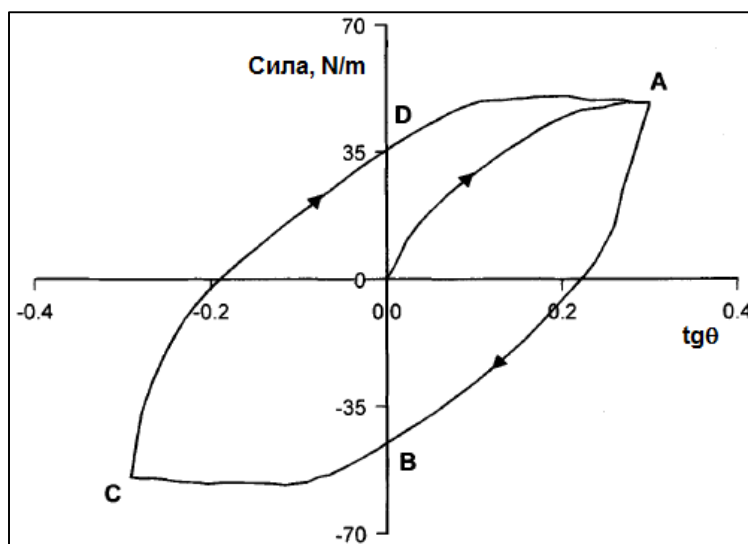
и горе и долу со цел да се одложи почетокот на свивањето. Хоризонталната сила, F , која е потребна за странично придвижување на долната клема се мери заедно со аголот на смолкнување θ . Меѓутоа, во оваа експериментална конфигурација применетата сила F не е еднаква на силата на смолкнување па величината $W \cdot \tan \theta$ треба да се одземе од применетата сила. Овој фактор се

појавува бидејќи кога клемата се поместува странично таа исто така се поткрева вертикално, а за тоа е потребна додатна сила од $W \cdot \operatorname{tg} \theta$. Затоа:

$$\text{Ефективна сила на смолнување} = F - W \cdot \operatorname{tg} \theta$$

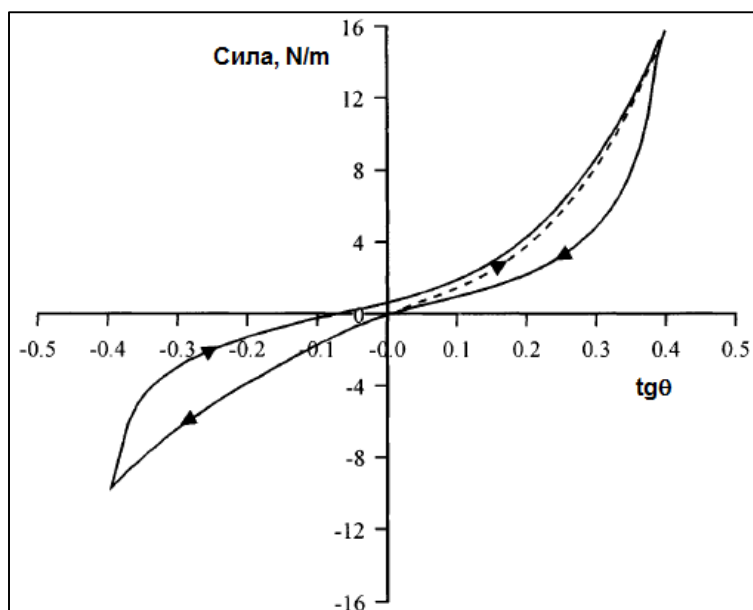
Силата обично се изразува како сила по единица ширина (L) на примерокот. Најдено е дека грешките кој се поврзани со почетокот на свивањето можат да се редуцираат со користење на потесен примерок и со намалено растојание меѓу клемите т.е. да не биде тоа квадратно. Односот на висината спрема ширината од 1:10 се смета како лимит за практично мерење.

Посовремените инструменти за мерење на смолкнувањето се прилагодени да се монтираат во стандардна **тест машина за затегање така што смолкнувањето може да се врши во двата правци**. Со овие инструменти може да се исцрта целата крива напрегање на смолкнување – деформација. На сликата 18.4 прикажан е пример за оваа крива.



Слика 18.4. Пример за смолкнување

Иницијално, линијата од почетокот оди кон А, каде оптоварувањето се менува во обратна насока и потоа линијата преку В оди до С. Во оваа точка примерокот се смолкнува за ист агол но во спротивна насока, оптоварувањето се менува во обратна насока и примерокот е подвргнат на понатамошен половина циклус назад до А. Патекаата ABCD потоа станува следена од секој нареден циклус на смолкнување. Од овој пример може да се види дека се јавува хистерезис кога насоката на смолкнување се менува. Тоа се должи на фактот дека кога ткаенината е смолкнувана, повеќето од силата се троши за совладување на фрикционите сили кои постојат на преклопувањето на основата со јатокот. Овие фрикциони сили секогаш се спротивставуваат на силата на смолкнување без разлика во која насока таа да дејствува.



Слика 18.5. Друг пример за смолкнување

На сликата 18.5 прикажана е ткаенина која има помала крутост на смолкнување од таа прикажана на сликата 18.4.

Предложени неколку начини за квантифицирање на однесувањето при смолкнување, некои од нив се следниве:

1. Со иницијалниот модул на смолкнување, кој ќе биде даден со нагибот на кривата во координатниот почеток.
2. Со модулот на смолкнување при нула агол на смолкнување, кој ќе биде даден со нагибот во точките В и D, слика 18.4.
3. Со хистерезисот при нула агол на смолкнување, кој ќе биде даден со должината BD на сликата 18.4.

§19. ТОРЗИОНИ ОСОБИНИ НА ВЛАКНА

Торзиони ги викаме оние особини кога влакната или материјалите се подвргнати на дејство на сили на торзија или усукување. Во овој контекст, торзиони сили се сили на усукување кои дејствуваат на двата краја од влакното во спротивна насока, слика 19.1.



Слика 19.1. Влакно напрегнато на торзија

Торзионата крутост можеме да ја дефинираме како момент кој предизвикува еден обрт по единица должина, и е еднаква на:

$$\text{Торзиона крутост} = \frac{\eta E_{ss} T^2}{\rho}$$

каде:

η = фактор на обликот (различен е од оној за свиткување);

E_{ss} = специфичниот модул на смолкнување;

T = линеарна густина;

ρ = густина.

Торзионата крутост се изразува во $N \cdot m^2$, $N \cdot mm^2$, итн.

Равенката го покажува влијанието на обликот, финоста, модулот и густината врз торзионата крутост на влакната. Исто како и при свиткувањето, бидејќи финоста доаѓа на квадрат, таа е најважен влијателен фактор за торзионата крутост. Во горната релација модулот на смолкнување е фактор затоа што при торзијата површината на влакното е изложена на смолкнување.

Пригодно е да се воведи величина торзиона крутост на примерок со единица линеарна густина (во tex), која ќе биде независна од финоста на соодветниот примерок. Оваа величина ја викаме **специфична торзиона крутост** и е дадена со равенката (тогаш $T=1$):

$$\text{Специфична торзиона крутост} = \frac{\eta E_{ss}}{\rho}$$

Специфичната торзиона крутост се изразува во $(N \cdot m^2)/tex$.

Во табелата 19.1 дадени се вредности за специфичната торзиона крутост за некои природни и синтетички влакна.

Торзионата крутост е многу осетлива на влага заради тоа што влажните влакна многу полесно се усукуваат.

Табела 19.1. Специфична торзиона крутост
за некои текстилни влакна

Влакно	Специфична торзиона крутост ($mN \cdot mm^2/tex$)
Памук	0,16
Волна	0,12
Свила	0,16
Вискоза	0,085
Најлон 66	0,06
Полиестер	0,067

Прекидно усукување

Ако влакното премногу се усучи тоа ќе се скине. Усукувањето при кое тоа се случува го нарекуваме **прекидно усукување**. Експериментално е најдено дека бројот на завои до кинење е обратнопропорционален на дијаметарот од влакното, т.е.

$$T_b \propto \frac{1}{d}$$

каде: T_b = прекидно усукување; d = дијаметар на влакното.

За да добиеме карактеристична особина за влакната можеме да го користиме **аголот, α , на прекидното усукување**. Тоа е аголот на смолкнување на надворешниот слој од влакното (површината) кога влакното ќе се скине и е даден со релацијата:

$$\operatorname{tg} \alpha = \pi d T_b$$

односно:

$$\alpha = \arctg(\pi d T_b)$$

каде: T_b = прекидно усукување во завои по единица должина; d = дијаметар на влакното. Типични вредности на α за некои текстилни влакна се дадени во табелата 19.2.

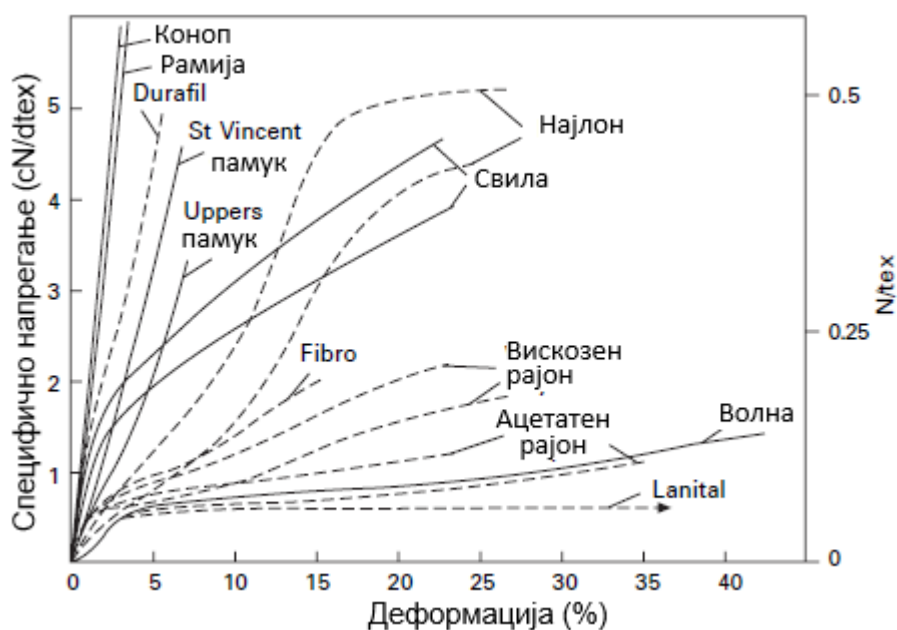
Табела 19.2. Агол на прекидно усукување за некои текстилни влакна

Влакно	α	Влакно	α
Памук	35°	Волна	40°
Вискоза	33°	Свила	39°
Полиестер	50°	Стакло	4°

ГЛАВА III. МЕХАНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ТЕКСТИЛНИ И ТЕХНИЧКИ ВЛАКНА

§20. ТИПИЧНИ ОСОБИНИ НА ВЛАКНАТА

Првото комплетно компаративно тестирање на текстилните влакна е извршено уште во 1940-тите години на тогаш достапните влакна. Дел од резултатите од тоа тестирање се презентирани на сликата 20.1 и табела 10.2. Треба да се напомене дека овие резултати се однесуваат само за одреден тип на материјали тестирани при одредени услови и не треба да се споредуваат со резултати добиени при различни услови на тестирање.



Слика 20.1. Криви напрегање – деформација за различни влакна
тестирани при 65% рел.влаж., 20 °C, 0,15 mN/tex·s

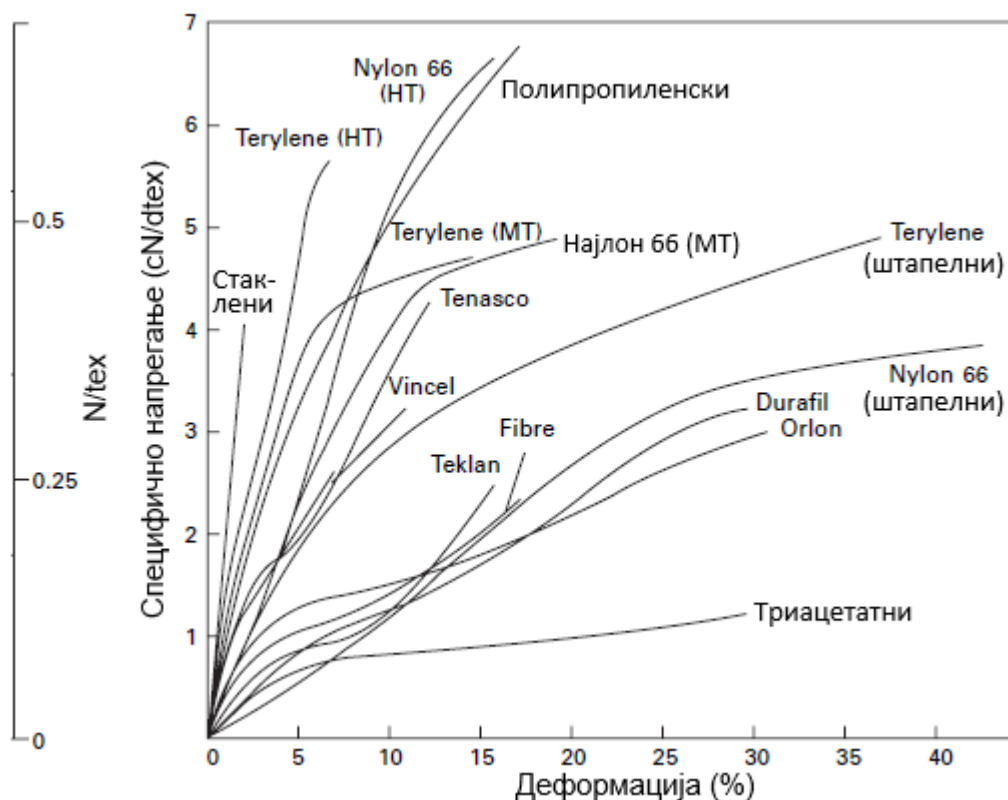
На сликата се дадени трговските називи за некои влакна:

Durafil = рајон добиен по Лиленфелд-ов процес

Fibro = сечкани влакна од вискозен рајон

Lanital = казеинско (млечно) влакно

Друг сет на компаративни податоци за вештачки влакна од 1950-тите е даден на слика 20.2.



Слика 20.2. Криви напрегање – деформација за различни типови комерцијални влакна

На сликата 20.2 вискозни рајон влакна се: *Fibro* (обични сечкани влакна од вискозен рајон), *Vincel* (рајон влакна со висок модул во влажна состојба), *Tenasco* (рајон влакна со висока жилавост; тоа се технички влакна); *Terylene* е полиестерско влакно; *Orlon* е акрилно влакно; *Teklan* е модакрилно влакно; *Durafil* е рајон влакно; *MT* е влакно со средна јакост (*medium tenacity*).

Табела 20.1. Типични особини на природните влакна

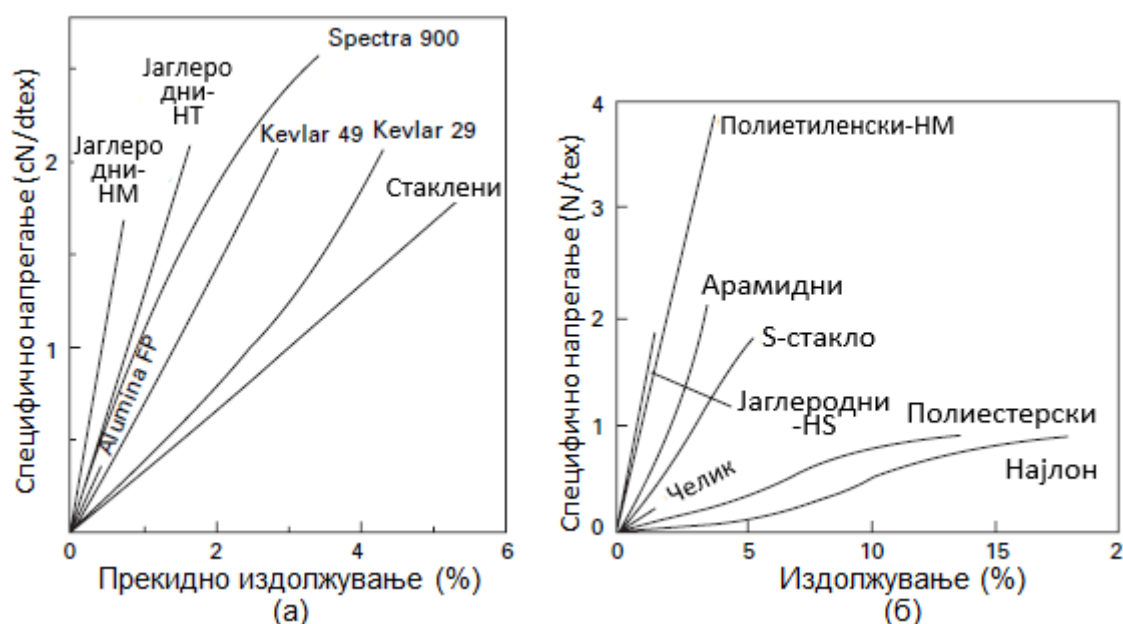
	Дијаметар μm	Должина mm	Специф. тежина	Јакост GPa	Деформац. при прекин %	Модул GPa
Памук	10-27	10-50	1,54	0,6	7	8
Волна	15-40	25-355	1,3	0,17	35	2
Лен	15-20	25	1,4	0,65	1-3	65
Свила	12	>10	1,4	0,40	25	8
Свила	2	>10	1,4	0,6	25	12
Коноп	45	25	1,5	0,50	1-2	50
Јута	69	2	1,4	0,35	2,5	35
Рајон	4-60	контину.	1,52	0,50	~25	3-11

Табела 20.2. Типични особини на некои органски синтетички влакна

	Дијаметар μm	Специф. тежина	Јакост GPa	Деформац. при прекин %	Модул GPa
Полиамид 66	20	1,2	1	20	<5
Полиестер (PET)	15	1,38	0,8	15	15
Nomex	15	1,38	0,64	22	17
Technora	12	1,39	3	4,4	70
Kevlar 49	12	1,45	3	4,5	135
Zylon	12	1,56	5,8	2,5	280
Полиетилен	38	0,96	3	3,5	117

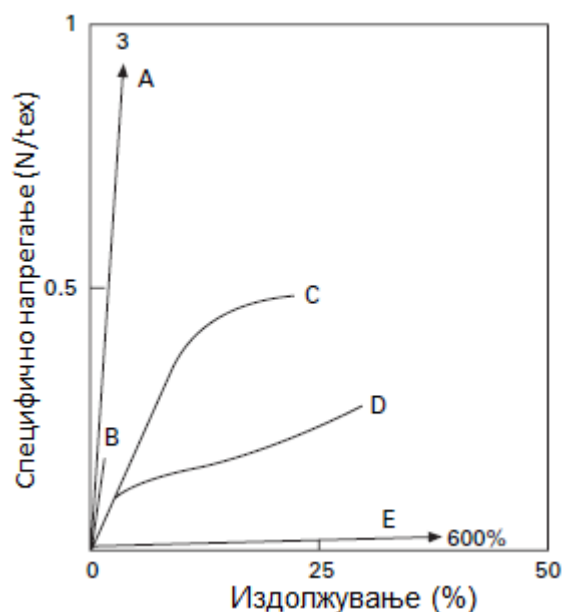
Во табелите 20.1 и 20.2 дадени се типичните особини на природните влакна и типичните особини на некои органски синтетички влакна, соодветно.

За втората генерација на синтетички влакна т.е. високо-модулните, НТ (*high modulus*) и високо-јаките влакна, НТ (*high tenacity*), нема компаративни податоци од еден ист тест. За споредба треба да се земат податоци од различни извори но тука се јавува неконзистентност на податоците затоа што тестирањата не се изведувани при исти услови. Еден сет на криви напрегање – деформација е прикажан на сликата 20.3а, а друг сет, кој дава споредба меѓу најлонски и полиестерски влакна, на сликата 20.3б



Слика 20.3. Типични криви напрегање – деформација за НМ-НТ влакна

Сите влакна, од механичка гледна точка, можат грубо да се поделат во пет групи, кои се илустрирани на сликата 20.4. Слабите нерастегливи влакна, како што е камената волна, не се од значен интерес. Природните и регенерираните влакна и некои синтетички имаат умерена јакост и растегливост. Жилавите синтетички



Слика 20.4. Механичка класификација на влакната

A – НМ-НТ влакна

B – слаби неоргански влакна пр. камена волна

C – жилави синтетички влакна

D – послаби текстилни влакна

E – еластомерни влакна

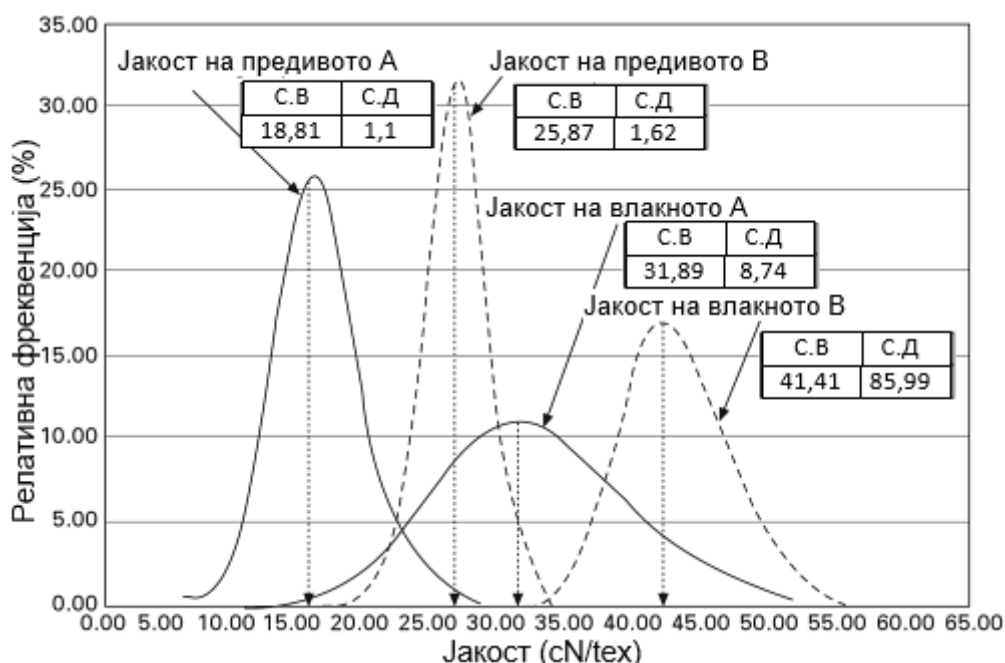
влакна имаат повисока јакост и растегливост. НМ-НТ влакната имаат голема јакост и мала растегливост. Еластомерните влакна имаат мало специфично напрегање, во однос на нивните нормални димензии и висока растегливост.

Во текстилните структури има илјадници, а често и милиони влакна и карактеристиките на структурите зависат од сумата на влакната кои ги градат. Вака голема популација на влакна бара статистички пристап за да се сфати нивното однесување, заради тоа што влакната, обично, покажуваат големо растурање во механичките особини. Влакното се кине на своето најслабо место или таму каде што има најголема концентрација на напрегање. Тестирањето на влакното на затегање вклучува негово оптоварување и одредување на оптоварувањето при кое тоа се кине. Ако ваков тест на затегање се изведува врз многу влакна тогаш се случува да има големо варирање на резултатите во рамките на тестираната популација. Ваквите ситуации се третираат со Weibull статистичка анализа.

§21. ПАМУЧНИ ВЛАКНА

За разлика од синтетичките влакна, памучните влакна покажуваат голема варијабилност во сите особини. Не постојат ни две идентични влакна, дури ако се земени од иста памучна чаура. Се разликуваат во дијаметарот, должината,

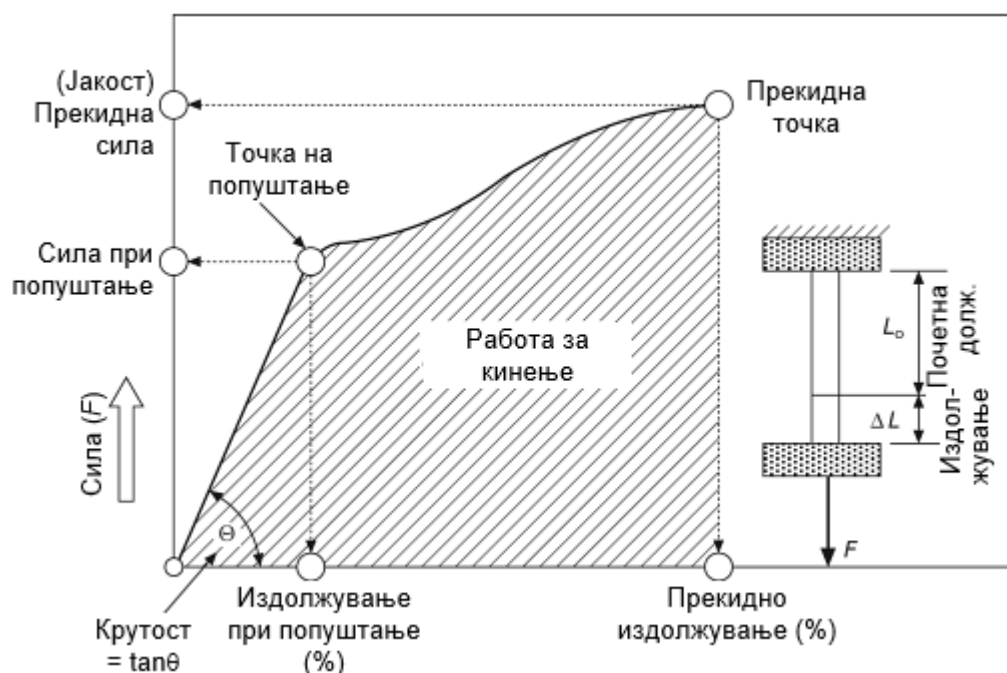
зрелоста и јакоста. За да биде работата уште по комплексна, единичното памучно влакно често покажува варијации во димензионите и механичките карактеристики долж оската на влакното. Влакното е подебело на долниот дел, а е заострено кон врвот; исто така и конволуцијата се менува долж влакното; исто така, молекуларната ориентација на влакното варира од долниот дел кон закосениот врв. Овие различни причинители на варијабилноста често се рефлектираат во вредноста на јакоста како за средно-штапелните така и за екстра долгите штапелни памучни влакна, особено при тестирање на затегнатост на единично влакно. Овај факт е илустриран на сликата 21.1. каде се прикажани дистрибуцијата на зачестеноста (фреквенцијата) на јакоста на предивото за два типови на предиво (едното е од Upland памук, А, другото од – Pima памук, В), и соодветната дистрибуција на јакоста за единично влакно извадено од предивото.



Слика 21.1. Дистрибуција на зачестеноста на јакоста на влакната и предивото (С.В - средна вредност, С.Д - стандардна девијација)

Јакоста и издолжувањето на памучното влакно се одредуваат при тест на затегање при кој влакното/влакната се подвргнува на издолжување во аксијална насока. Издолжувањето предизвикува создавање на напрегната состојба. Напрегнатоста продолжува да се зголемува се додека примерокот не се скине. Оптоварувањето при кое примерокот се кине претставува мерка за јакоста на влакното, додека соодветното зголемување на должината на примерокот – мерка за прекидното издолжување. Овој процес може да се опише преку кривата напрегање – деформација. На графикот се претставува издолжувањето на примерокот со почетна должина L_0 , под дејство на силата F , за додатна должина ΔL , се додека примерокот не се скине. Пример на оваа крива е даден на сликата

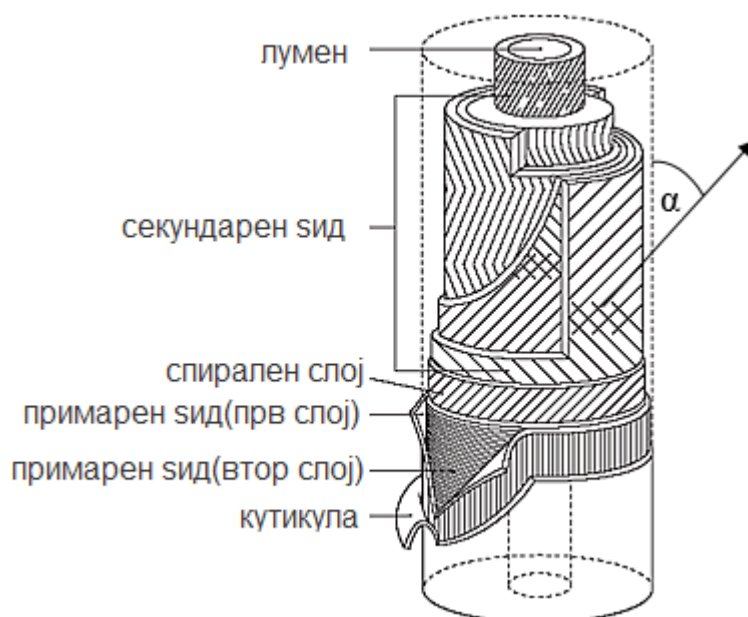
21.2. Со помош на оваа крива, можеме да одредиме многу корисни механички карактеристики како што е илустрирано на сликата.



Слика 21.2. Напрегање-деформација крива за памук

Жилавост

Вредностите за жилавоста на единично памучно влакно се движат од 120 mN/tex до 440 mN/tex. Овој широк опсег се должи на разликите во структурните параметри на различните типови памук.

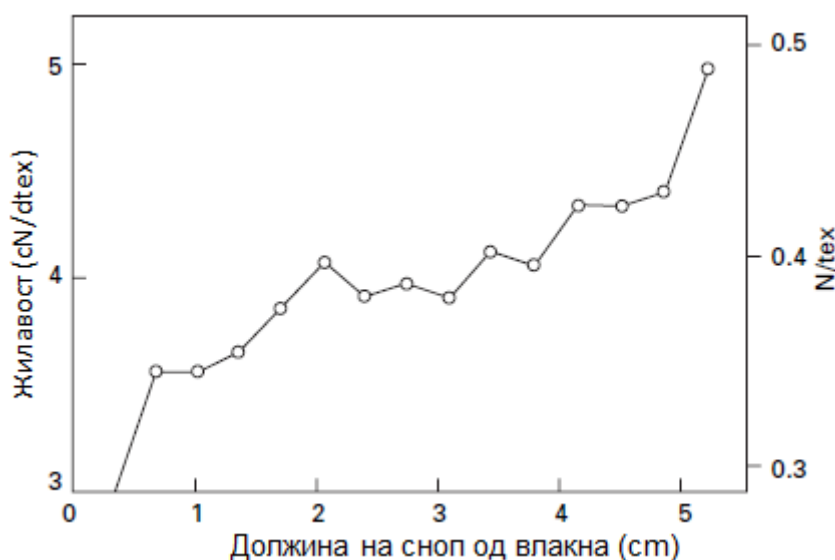


Слика 21.3. Градба на памучното влакно

Еден од клучните параметри кој има значаен ефект врз јакоста на влакната е молекуларната ориентација. Овој параметар, пред се, се однесува на аголот од фибрилите кои се обвиткуваат околу оската на влакното; колку е помал аголот толку е поголем степенот на ориентација). Овој агол може да се движи, кај различни типови на памук, од 20° до 45° , слика 21.3.

Друг параметар кој влијае врз јакоста е молекулската тежина. Помеѓу молекулската тежина и јакоста на влакното постои правопрпорционална зависност.

Исто така, најдено е дека жилавоста и прекидното издолжување се зголемуваат со зголемувањето на должината на влакната, како што е прикажано на сликата 21.4.



Слика 21.4. Корелација меѓу жилавоста и должината на памучни влакна

Прекидно издолжување, крутост и еластичност на памучното влакно

Прекидното издолжување го изразуваме во проценти и според прифатен критериум, вредностите за издолжувањето на снопо памучни влакна се дадени во табелата 21.1.

Табела 21.1. Механички параметри за Upland памучни влакна

Критериум	Прекидна јакост (cN/tex)	Прекидно издолжување (%)
Многу мало	<21	<5.0
Мало	22-24	5.1-5.8
Средно	25-27	5.9-6.7
Големо	28-30	6.8-7.6
Многу големо	>30	>7.6

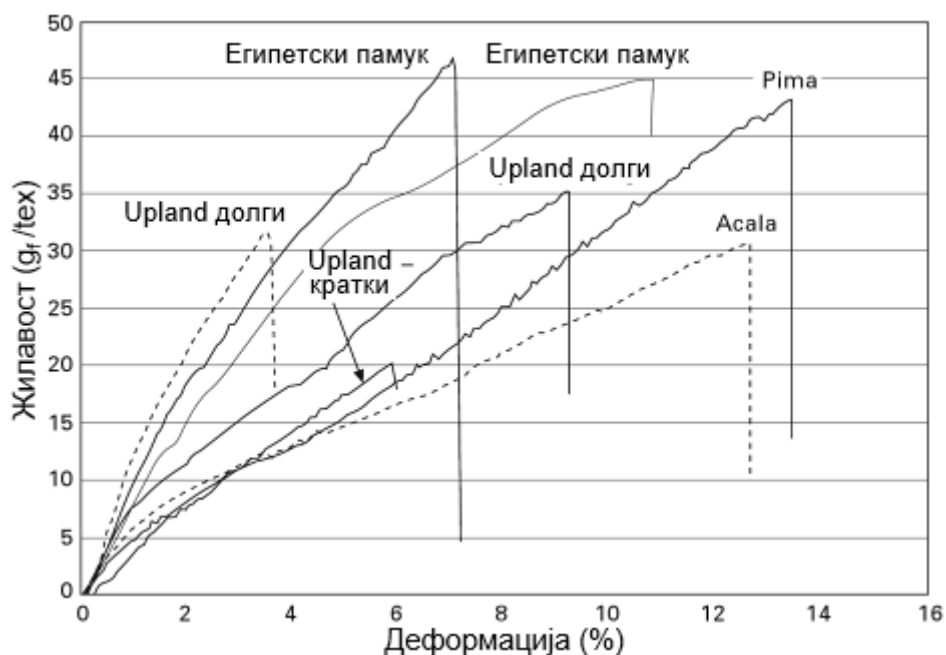
Бенефитите од познавањето на прекидното издолжување се добро познати. Генерално, издолжувањето на влакното, делумно ја рефлектира леснотијата со која влакното се истегнува; влакното со големо прекидно издолжување во однос на прекидната јакост, е познато дека лесно се истегнува при мали оптоварувања. Во пракса, влакната кои ја имаат оваа карактеристика се општо познати како високо-флексибилни.

Особините на издолжување на единично памучно влакно можат да бидат многу комплексни заради мноштвото влијателни фактори. Памучното влакно, типично, поседува природна брановидност, што е многу важна за влакната да се држат заедно при процесирањето. Како резултат на тоа, почетното оптоварување на влакното, при тестот за јакост на единично влакно, може целосно да се потроши за отстранување на брановидноста, што води кон добивање на повисоки вредности за неговото издолжување. При тестот за јакост на сноп од влакна, памучните влакна се чешлаат пред тестирањето, со што се помага за отстранување на поголем дел од брановидноста но исто така, при тоа, влакната се издолжуваат. Повторно, тоа може да доведе до грешка при тестирањето на вистинската вредност на издолжување. Овие фактори може да се мултиплицираат заради големата осетливост на влакната спрема параметрите на тестот како што се преголемата стегнатост на клемите од динамометарот и од иницијалниот момент што се јавува при движењето на подвижната полука која го предизвикува оптоварувањето при тестирањето.

Основен момент поврзан со прекидното издолжување на влакното е дека тоа директно влијае врз прекидното истегнување на предивото. Со други зборови, влакната со големо прекидно издолжување резултираат во предиво со големо прекидно истегнување. Овој е од критичко значење ако се има во предвид фактот дека памукот мора да се финишира (се облага со површински филм за да се намали власењето и отпорноста на абразија) пред да се ткае. Факт е дека финишот го редуцира издолжувањето особено ако се нанесе поголема количина. Тоа води кон непосакувана крутост на предивото при ткаењето. Затоа е важно да се користат влакна со поголемо издолжување за да предивото направено од нив задржи доволен степен на издолжување.

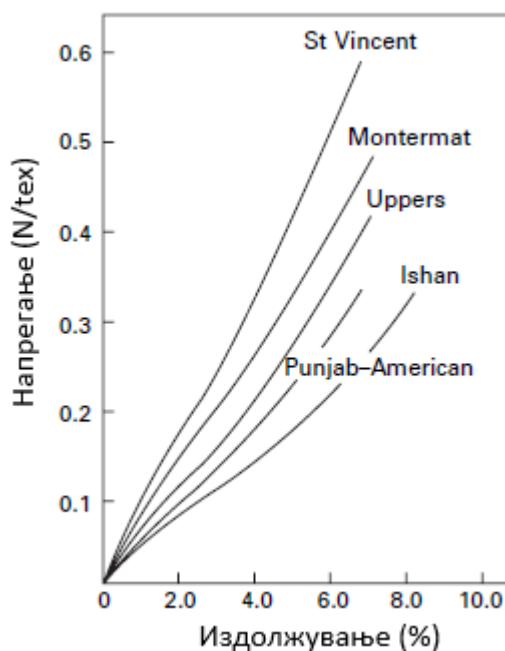
Крутоста на влакната обично се одредува од почетниот наклон на кривата напрегање – деформација ($\tan\theta$ на сликата 21.2; тангенсот може да се означи и со tg). Таа е обично позната како **иницијален модул**; колку е поголем иницијалниот модул толку е поголема крутоста на влакното и обратно, колку е помал иницијалниот модул толку е влакното пофлексибилно. Кај памучните влакна тешко се одредува иницијалниот модул бидејќи е многу осетлив на иницијалната брановидност (*crimp*) на влакната и начинот на припрема на примерокот. Типичните вредности за модулот на памучните влакна се движат од 3430 mN/tex до 7840 mN/tex.

Некои типичните криви напрегање – деформација за единично влакно од различни типови на памук се прикажани на сликите 21.5 и 21.6.



Слика 21.5. Типични напрегање – деформација криви за различни типови на памучни влакна

Еластичноста на влакната обично се одредува од степенот на повраток на влакното по подвргнувањето на оптоварување и растоварување; еластично го сметаме она влакно кое покажува целосен димензионален повраток при престанокот на оптоварувањето. Памучното влакно покажува само делумна еластичност; тоа значи дека тоа претрпува извесна перманентна елонгација при оптоварувањето и последователно растоварување. Кај кривата напрегање – деформација на еластичен материјал, делот од кривата меѓу почетокот и



Слика 21.4. Типични напрегање – деформација криви за различни типови на памучни влакна

точката на попуштање е обично права линија (види слика 21.2). Кај памучните влакна ова линеарно однесување не постои од причини кои претходно ги дискутиравме. Имајќи во предвид дека памучните влакна се подвргнати на повеќекратни оптоварувања и растоварување при процесирањето и крајната употреба, повратокот на влакната од мало оптоварување е нешто за што треба да се води сметка. Тоа води кон друг сроден параметар кој го нарекуваме **еластичен повраток** (*elastic recovery*) на влакната или со други зборови процентуален повраток на должината на влакното при престанокот на оптоварувањето. Ленот, кој е долго растително влакно, обично има повраток од 80 % од својата должина при оптоварување – растоварување од напрегање од околу 88 mN/tex (1 g/denier). За споредба, памучното влакно има повраток од 50 % од својата должина при оптоварување – растоварување при истото напрегање. Во континуиран процес на преработка тоа може да резултира во вкрутување на памукот при поминувањето од една во следна процесна фаза. Електронскиот микрограф на површината од прекинатото памучното влакно покажува фибрилен прекин, слика 21.7.



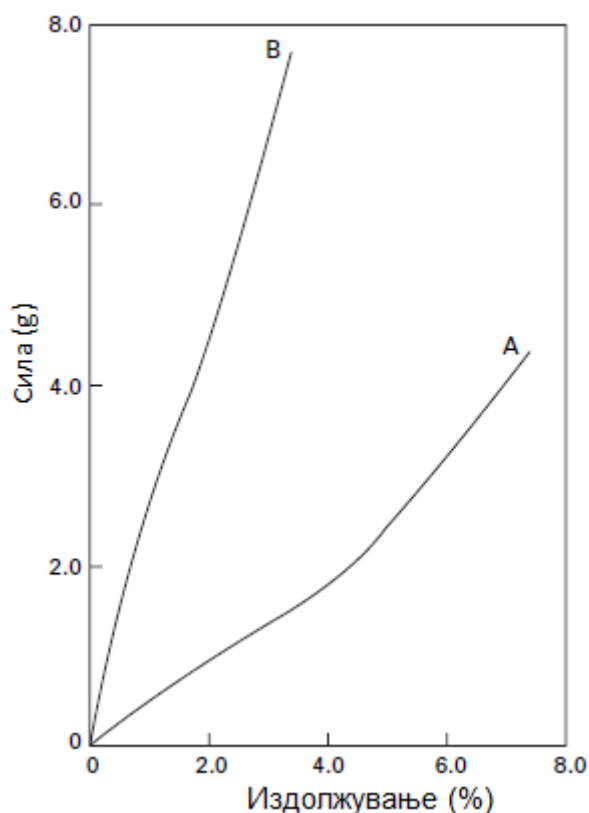
Слика 21.7. Фибрилен прекин на мерцелизирано памучно влакно

Динамичка јакост на памучните влакна

При процесирањето памучните влакна се подвргнати на динамички напрегања заради репетитивните циклуси на оптоварување – растоварување предизвикани од различни механички дејствија низ машините т.е. процесните фази. При процесирањето влакната претрпуваат илјадници истегање – отпуштање циклуси при нивното конвертирање од влакна во предиво заради механичката манипулација која ја трпат. Затоа е важно да се знае нивната отпорност спрема динамички напрегања. Вообичаен параметар кој се користи за одредување на оваа отпорност е односот помеѓу апсорбираната енергија и повратената енергија кога влакното ќе се истегни и потоа отпушти. Индиректна мерка за оваа енергија е **жилавоста на влакното** која се одредува преку извршената работа за истегнување на влакната до точката на кинење (видете слика 21.2). Таа работа се одредува од површината под напрегање – деформација кривата. Типични вредности за извршената работа се движат од 5 mN/tex до 15 mN/tex. Генерално, извршената работа се зголемува со третман на влакната во вода,

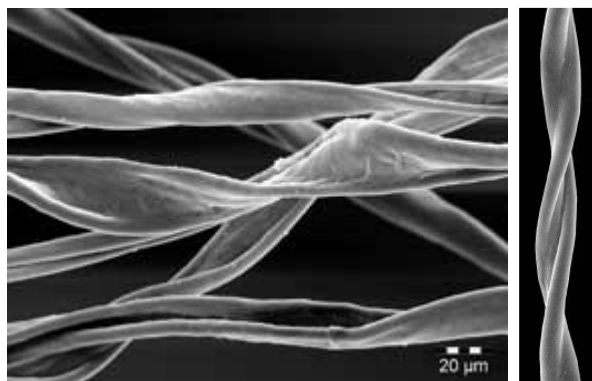
што резултира со набобрување на влакната. По сушењето на влакната извршената работа значително се намалува.

Друг критичен фактор кој влијае врз јакоста на влакната е влажноста и содржината на влага. Содржината на влага, генерално, влијае врз многу аtribute на влакната, вклучувајќи ги дијаметарот, јакоста, флексибилноста и електричната отпорност. Генерално, целосно сувиот памук е остар и крт. Влажниот памук е „леплив“ и „надуен“. Апсорпцијата на влага кај памукот при стандардни услови се движи од 6,75 % до 8,25 %. Општо е познато дека влажниот памук е појак од сувиот. Некои проучувања покажале дека при 4 % зголемување на содржината на влага во памучното влакно може да предизвика зголемување на јакоста за 6 g/tex.



Слика 21.8. Крива сила – издолжување за памук; А – нормално влакно; В – по влажно растегнување и сушење

Проучуван е и ефектот на конволуцијата (периодични завои), слика 21.9, врз однесувањето на памучните влакна. Ако влакната се растегнат конволуцијата се исправа. Ако влакната се растегнат во влажна состојба и остават да се исушат растегнати, растегнатата состојба привремено се задржува. На сликата 21.8 прикажан е ефектот врз кривата напрегање – деформација при 65% релативна влажност. Третираните влакна се покрути, и покажуваат повисока жилавост и помало истегнување при прекин.



Слика 21.9. Конволуција на памучното влакно

21.1. ПРИДОНЕС НА ЗАТЕЗНИТЕ ОСОБИНИ НА ПАМУЧНОТО ВЛАКНО ВРЗ ЈАКОСТА НА ПРЕДИВОТО

Една од главните причини за тестирање на јакоста на затегање на влакната е за да се одреди нивното влијание врз јакоста на предивото. Кај предивото, придонесот на влакната кон јакоста е преку два фактори: триењето влакно-со-влакно и јакоста на затегање. Овие два ефекти се демонстрирани преку релацијата јакост – усуканост. Анализата на овие два ефекти оди преку релацијата за односот на модулите на предивото и влакното:

$$\frac{\text{Модул на предивото}}{\text{Модул на влакното}} = \frac{E_y}{E_f} = \cos^2 \alpha (1 - k \operatorname{cosec} \alpha)$$

каде:

E_y – модул на предивото

E_f – модул на влакното

α – агол на усукување

k – е дефинирано преку следнава равенка:

$$k = \frac{\sqrt{2}}{3L_f} \left(\frac{aQ}{\mu} \right)^{1/2}$$

каде:

Q – миграционен период

L_f – должина на влакното

a – радиус на влакното

μ – коефициент на фрикција

Горнава равенка покажува дека постојат две основни компоненти што ја одредуваат релацијата *јакост на предивото – усуканост на предивото* за

дадена јакост на влакното: $\cos^2 a$ (е единствената компонента што е потребна за континуирано филаментно предиво) и $(1 - k \operatorname{cosec} a)$ за усукано предиво. Првата компонента дава смалување на јакоста со зголемувањето на аголот на усукување, додека втората, дава зголемување на јакоста со зголемувањето на усуканоста, што во голема мерка зависи од вредноста на k (повисоката вредност на k резултира во помали односи на јакоста).

Особините на влакната кои се рефлектираат во оваа равенка се нивната должина и финост (или дијаметар на влакното). Со зголемувањето на должината на влакната, k се намалува што води кон поголема јакост на предивото; со зголемување на дијаметарот на влакното, k се зголемува што води кон помала јакост на предивото. Равенката, исто така, покажува дека зголемувањето на триењето резултира со смалување на k вредноста или со зголемување на јакоста на предивото.

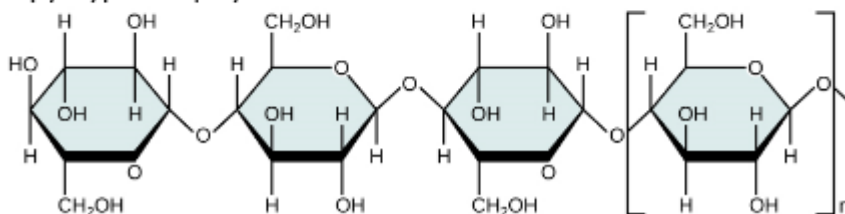
§22. ДРУГИ ЦЕЛУЛОЗНИ И СРОДНИ ВЛАКНА

Влакната од стеблото на растенијата (*bast fibers*), кај кои молекулите се многу блиску до паралелност со оската на влакната, покажуваат поголема жилавост, повисок модул, пониска растегливост при прекин и пониска работа при прекин. Тие претставуваат најјачки но и најнерастегливи природни влакна, со општа формула прикажана на слика 22.1.

Целулозни влакна



Структура на целулозата

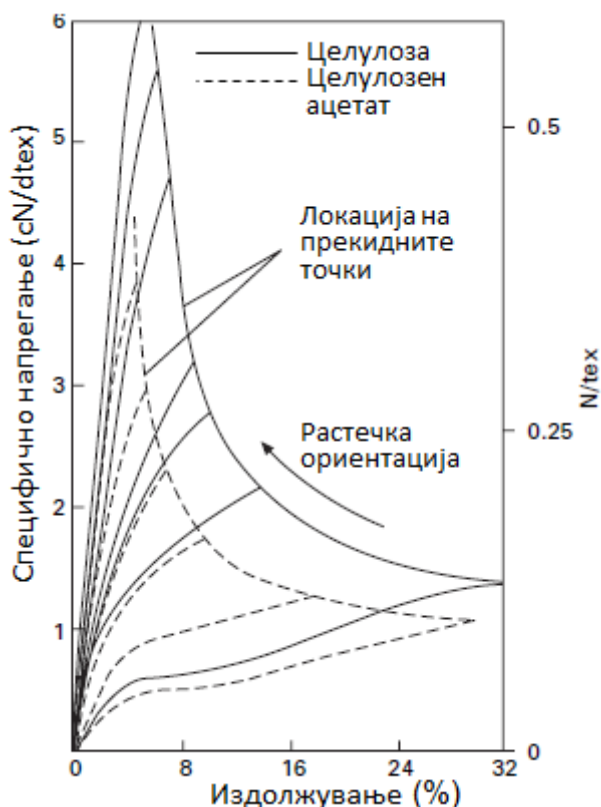


Слика 22.1. Целулозата, главната структурна компонента од клеточните сидови од растителните влакна зафаќа преку триесет проценти од масата на растенијата. Таа претставува најобилното органско соединение на Земјата

Првобитните испитувања на јутата покажале помала жилавост од другите влакна од стебло, но покасно е покажано дека поквалитетната јута има жилавост

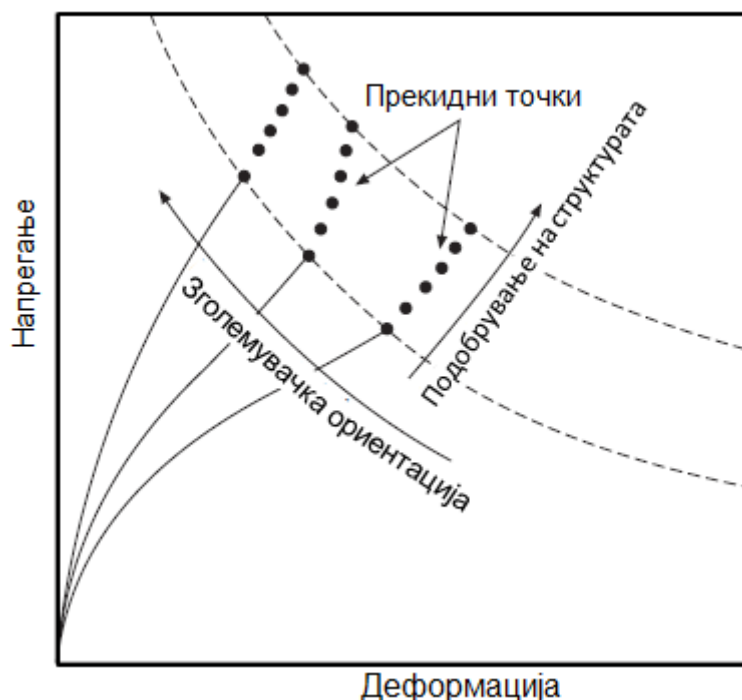
од 0,56 N/tex при еднакви услови на испитување; ова жилавост е на нивото од онаа на ленот и конопот.

Механичките особини на влакната од стебло како и на другите растителни влакна се презентирани во табелата 10.2 од претходната глава.



Слика 22.2. Криви напрегање – издолжување за филаменти со различен степен на ориентација.

Кривите напрегање – деформација за рајон и ацетатни влакна покажуваат иницијален рапиден раст со очигледна точка на попуштање, проследен со скоро рамен дел и со повторен раст при приближувањето кон точката на прекин. Кривите се многу различни за различни типови на рајон и различни производни методи. Разликите се должат на методот на извлекување (нивното добивање од полимерна маса) на влакната и последователното влечење. Високо-влечените влакна имаат висока молекулска ориентација што им дава голема јакост и мала растегливост слична на онаа од влакната од стебло. Рајонот кој се користи за облека е помалку јак и е порастеглив. Ефектот на ориентацијата е јасно илустриран со сет на криви на сликата 22.2 за ацетатни влакна со различен степен на ориентираност. Ако целулозното предиво е регенерирано од ацетат кривата на јакост е нешто повисока. Генерално, ацетатните влакна се понејаки и порастегливи од влакната на вискозен рајон. Кривите сила – издолжување на ацетатните влакна, добиени при константна брзина на издолжување, често покажуваат пад по точката на попуштање.



Слика 22.3. Напрегање – деформација криви за вискозен рајон

Постојат важни разлики во особините на затегање кај вискозниот рајон во зависност од финоста на структурата. Подобрувањето на структурата предизвикува позициите на прекидните точки да бидат дислоцирани погоре од оригиналните, така што се зголемува јакоста без да се изгуби растегливоста како што е случај кога се зголемува ориентацијата. Ова е илустрирано на слика 22.3. Кривите ги покажуваат промените предизвикани од зголемувањето на ориентацијата и подобрувањето на структурата.

Модалните рајони се фибрилни во текстурата и се покрути и поблиску со особините до памучните влакна отколку првобитно добиените рајони. Тие имаат висок модул и подобра јакост во влажна состојба. Лиоцелните влакна (тип на целулозни влакна) се слични во особините на затегање, но се нешто појаки и покрути.

На сликата 22.2 испрекинатите линии се секундарен целулозен ацетат; полните линии се целулозни влакна регенерирани од ацетат. Најниските криви се за неориентирани влакна.

§23. ВОЛНА

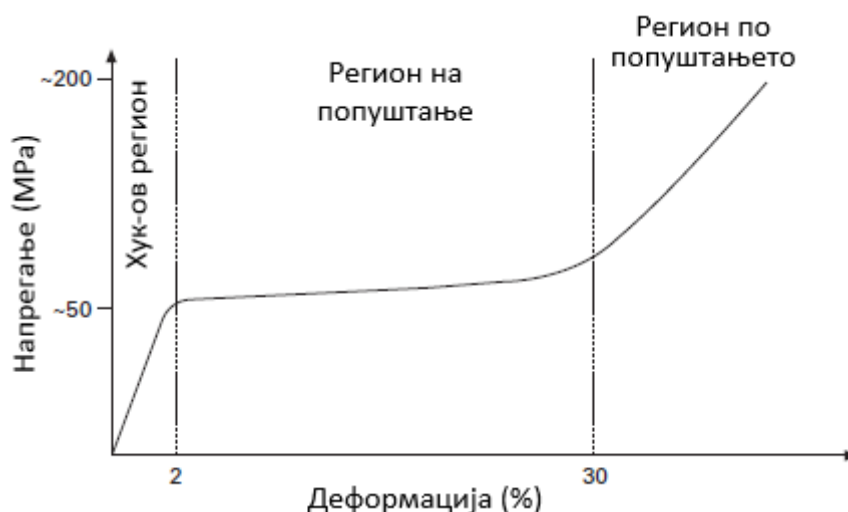
Волната е комплексен биокompat со типичен дијаметар од 16–30 μm со кутикула во вид на крлушки. На сликата 23.1 прикажана е слика добиена од скенирачки електронски микроскоп на која може да се виде површинската структура на преклопени крлушки.



Слика 23.1. SEM микрограф на мерино влакно

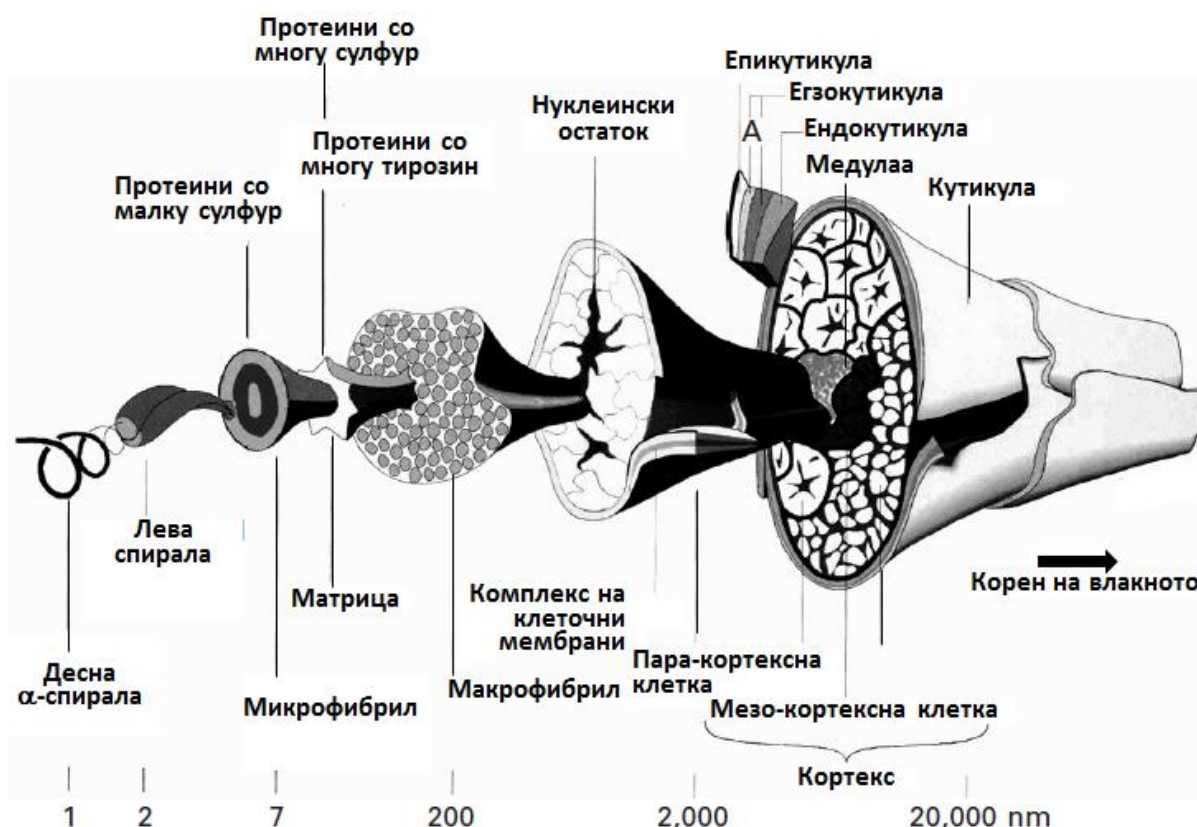
Покрај површинската волната има и комплексна хиерархиска структура, слика 23.3, која има силно влијае врз физичките особини на влакното.

Проучувањето на напрегање – деформација кривата датира уште од 1924 година. Од тогаш до денес се развиени многу модели со развојот на сознанијата за структурата на волната. Стилизирана крива е претставена на сликата 23.2.



Слика 23.2. Стилизирана крива напрегање – деформација (x-оската е форматирана за подобро да се прикаже Хук-овиот регион)

Јакоста на волната се тестира на цел штапел. Тоа обично се изведува со почетно растојание меѓу клемите на тест машината од 50-60 mm и со брзина на движење на движекката полука од динамометарот од 300 mm/s. Крајната сила се нормализира според линеарната густина на штапелот за да се добие резултатот во N/ktex. Типичните вредности се меѓу 15 и 55 N/ktex. Волната со

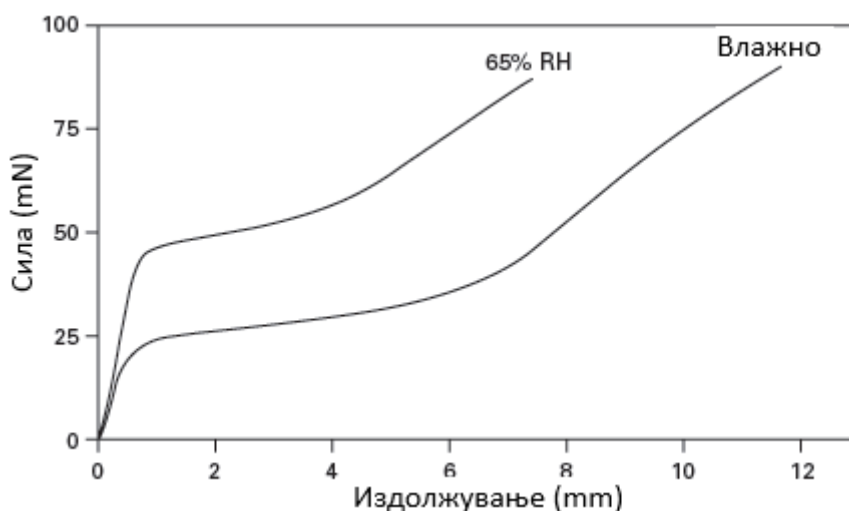


Слика.23.3. Графичка репрезентација на морфолошката структура на влакно од мерино овца при прогресивно зголемување од десно на лево

вредност под 30 N/ktex се смета за „слаба“ и е со помала употребна вредност и цена. Содржината на влага во влакното значително го менува обликот на кривата од графикот сила – издолжување. На сликата 23.4 дадени се две криви сила – издолжување за единични влакна од мерино овца со дијаметар од 21 μm , тестирани во воздух и вода. Со цел да ја конвертираме оваа крива (од сила – издолжување) во крива напрегање – деформација потребно е да ја поделиме силата со површината на попречниот пресек на влакното или со неговата линеарна густина, а издолжувањето со почетната должина на влакното.

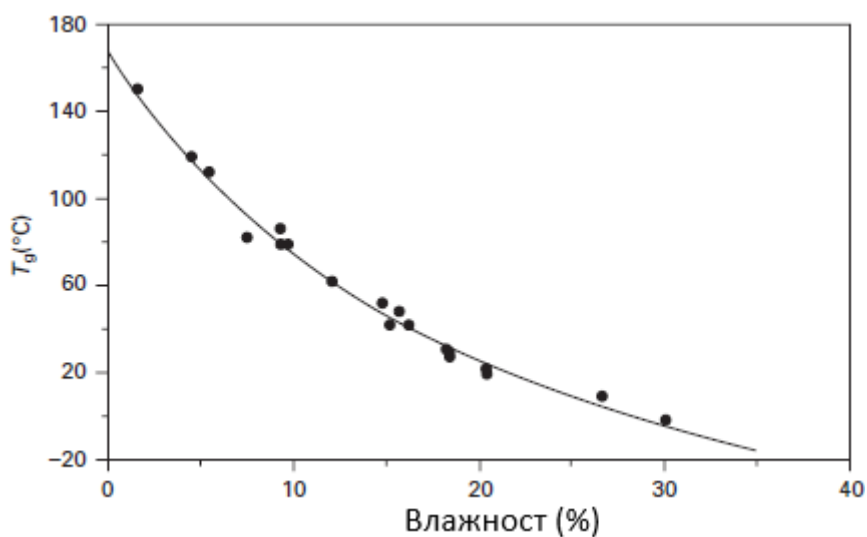
За волната влагата има улога на пластификатор, и не само што го менува обликот на кривата сила – издолжување, туку ги менува и сте други физички карактеристики на влакното.

Леснотијата со која макромолекулите ротираат околу 'рбетот на молекулската верига има драматично влијание врз особините на затегање на материјалите. Колку е поголема мобилноста на молекулите толку понекут е материјалот. Некои полимери, како што е гумата, природно се многу мобилни на собна температура. Други, на пример PVC, се крути на собна температура но можат да се направат флексибилни со додаток на пластификатор кој дејствува како внатрешен лубрикант. За волната, водата е одличен пластификатор, драматично менувајќи ги физичките особини на влакното.



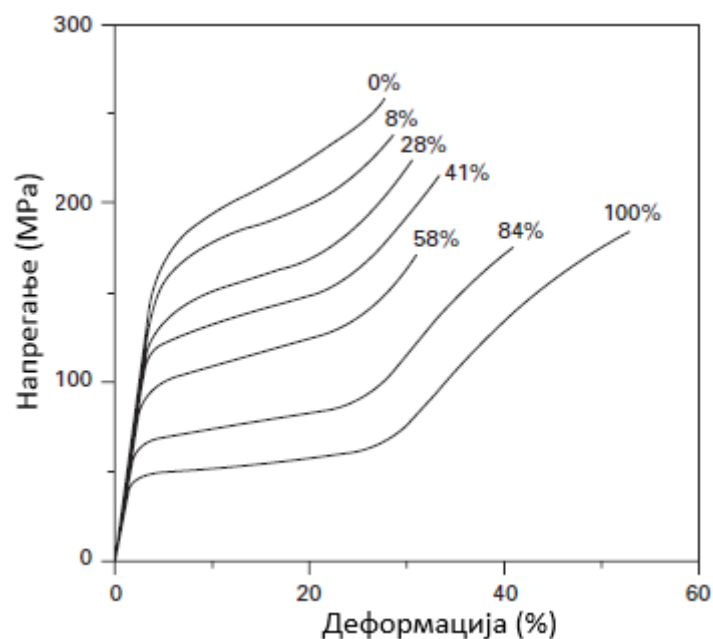
Слика 23.4. Типични криви сила – издолжување за влажно и суво мерино влакно

Најдобар индикатор за молекулската мобилност е температурата на стаклосување, T_g . Ако T_g е под собната температура тогаш материјалот покажува гуместо однесување, но ако е над собната температура, тогаш материјалот е како стакло и е крт. За волнените влакна T_g е околу $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ при нормални услови но драматично се менува ако влакното се суши или апсорбира повеќе влага од околината, слика 23.5.



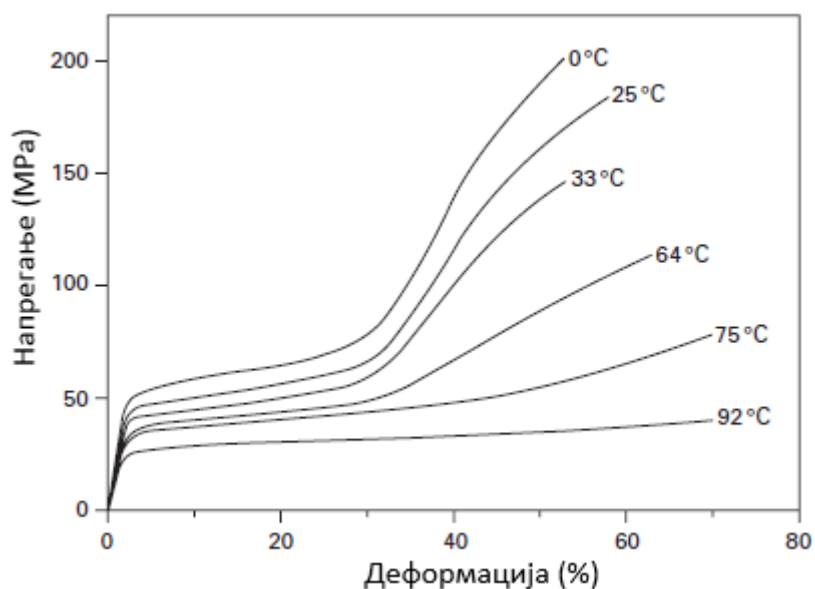
Слика 23.5. Температура на стаклосување на волната во функција од апсорбираната влага

Кога влакното преминува од влажна до целосно сува состојба, тоа резултира во смалување на деформацијата при прекин и зголемување на напрегањето при прекин како што може да се види од слика 23.6. Модулот, исто така се зголемува за околу три пати при сушењето на влакното, слика 23.8. Мобилноста на веригите, исто така, може да се зголеми или намали со промена на температурата како што е прикажано на сликата 23.7.

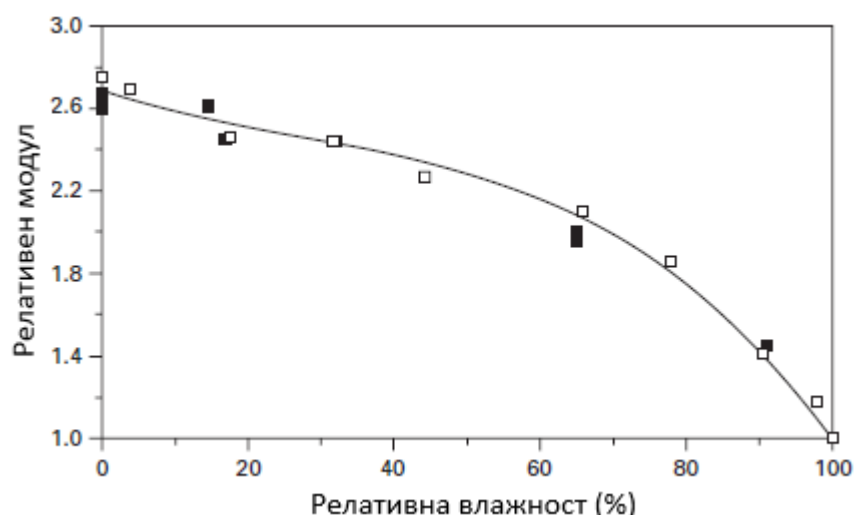


Слика 23.6 Типични напрегање – деформација криви на волна при различна релативна влажност

Од сликата 23.7 можеме да заклучиме дека влакното е покруто на пониска температура. Со зголемување на температурата му се намалува јакоста а значително се зголемува издолжувањето при прекин.



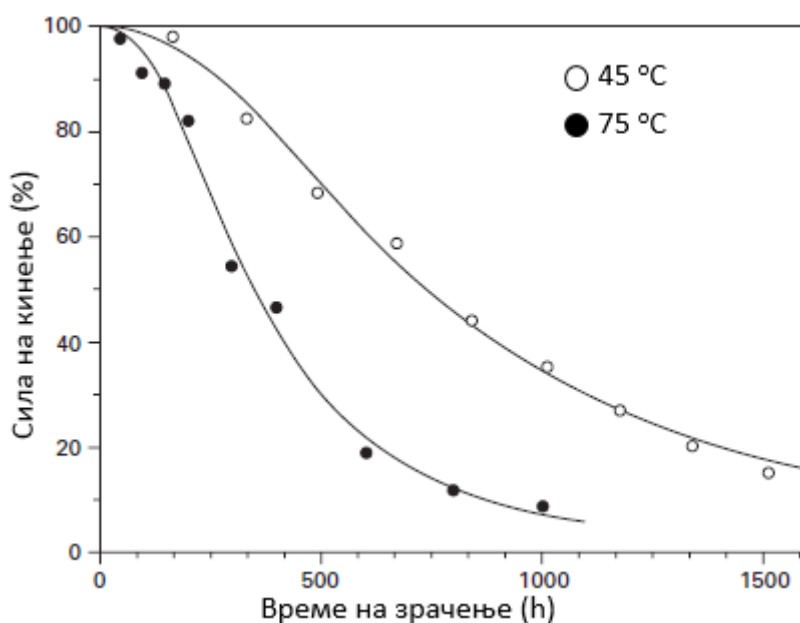
Слика 23.7. Типични напрегање – деформација криви на волна при различни температури



Слика 23.8. Промена на релативниот модул на волненото влакно во функција од релативната влажност

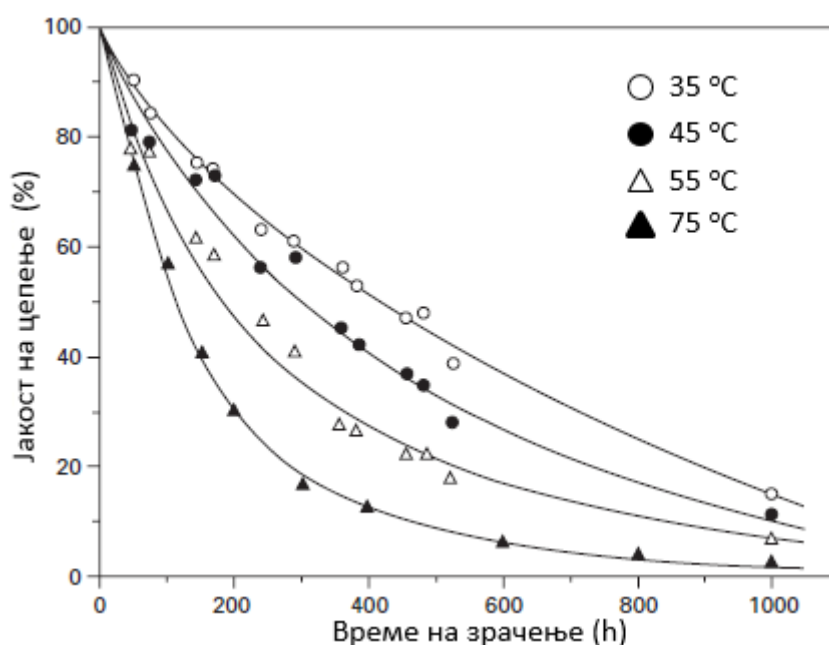
Влијание на ултравиолетовата (UV) светлина

Ако волната е изложена подолго време на сончева светлина има тенденција да пожолтува и евентуално да ја губи јакоста. Пожолтувањето на волната е посебно сериозен комерцијален недостаток во споредба со памукот и синтетичките влакна. Тој недостаток особено се чувствува ако од волната се бара фотостабилни совршени бели и светло пастелни нијанси. Заради овие причини вложени се значителни напори за да се разберат факторите што предизвикуваат фото пожолтување. На грбот од овцата врвот на волната е повеќе изложен на

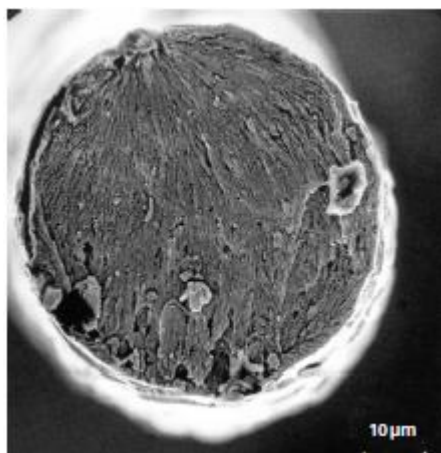


Слика 23.9. Влијание на времето и температурата на изложеност врз јакоста на волнена ткаенина изложена на симулирана сончева светлина. Прекидната сила е изразена во проценти од почетната сила

надворешни влијанија одошто коренот, што го прави понабабрен и обезбоен. Вршено е споредување на модулот при затегање на половината должина од волнените влакна земени од врвот (од грбот на овца која е чувана на отворено), со другата половина од коренот и се покажало дека примерокот од врвот има помал модул. Исто така е најдено дека ако волната се изложи подолго време на сончево зрачење губи околу 25 % од кристаличноста а со тоа и од јакоста на затегање. Друго испитување, кое е вршено за влијанието на сончевото зрачење врз механичките карактеристики на волната, вклучува тест на абразија и цепење. Овие тестови покажале дека ако волната се изложи на дејство на различни бранови должини на светлина, значително губи од овие механичките карактеристики. Ако зрачењето се врши во услови на зголемена температура тогаш деградацијата на механичките карактеристики значително се забрзува. Влијанието на температурата е многу значајно за автомобилските навлаки каде во лето температурата, во затворена кола изложена на сонце, може да достигне и до 95 °C. На високи температури, исто така, можат да бидат изложени и завесите и теписите. Сликите 23.9 и 23.10 се типични примери за оштетувањето што го предизвикува фото деградацијата.



Слика 23.10. Влијание на времето и температурата на изложеност врз јакоста на цепење на волнена ткаенина изложена на симулирана сончева светлина. Јакоста на цепење е изразена во проценти од почетната јакост

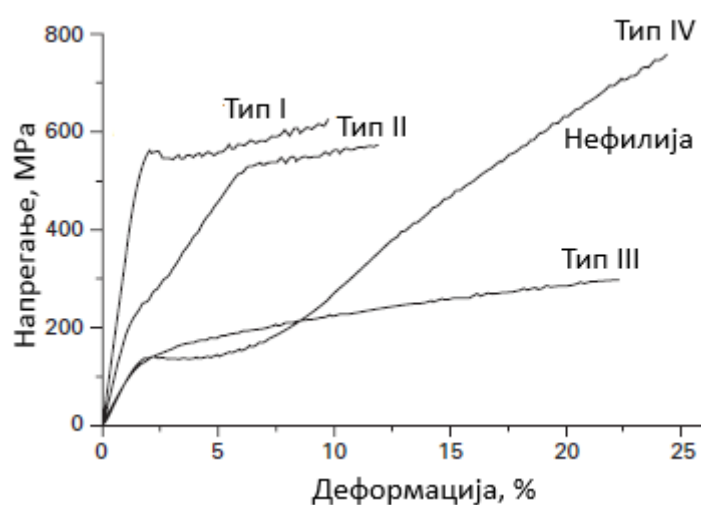


Слика 23.11. Микрограф на прекинато волнено влакно

На сликата 23.11 претставен е микрограф на површината од прекинато волнено влакно при затегање од кое може да се види дека прекилот е грануларен.

§24. ДРУГИ ПРОТЕИНСКИ ВЛАКНА

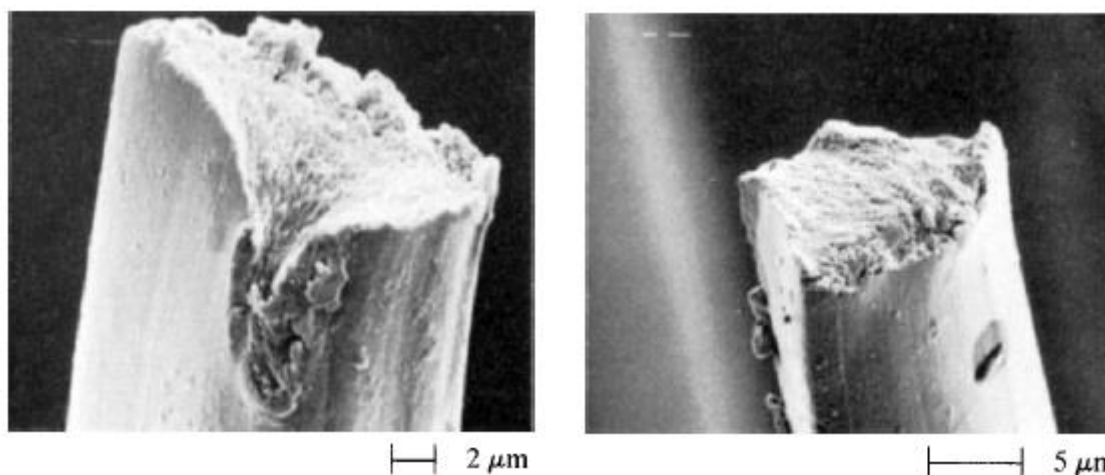
Свилата се одликува со голема варијабилност во дијаметар на влакната, униформноста и јакоста. Особено оваа разлика доаѓа до израз меѓу традиционалната свила и свилата добиена од пајак. Оваа варијабилност, главно, се должи на мноштвото специјални жлезди и соодветните на нив спинерети, како и од различната композиција на аминокиселините. На сликата 24.1 се споредени различни криви напрегање – деформација за неколку типови *Bombyx mori* свила со нефилија (свила од пајак).



Слика 24.1. Споредба на различни типови свила

- *Тип I:* еластично однесување до 2 % деформација и потоа следи помалку или повеќе рамен регион; вакво однесување е многу ретко за процесирани предива/влакна но е често за влакна извлечени од свежи кожурци и мануелно впредени влакна од свилена буба.
- *Тип II:* еластично однесување до 2 % деформација, потоа линеарен дел до 5-6 % и трет порамен дел се до прекидната точка; ова однесување е карактеристично за суви, процесирани влакна/предива.
- *Тип III:* по еластичното однесување до 1,5 % забележана е континуирана варијација во делот над линеарното однесување. Вакво однесување е карактеристично за влакна заситени со влага и кај многу дегумирани и обоени влакна.
- *Тип IV:* по вискоеластичното однесување (рамниот дел од кривата) забележано е вкртување се до прекидната точка. Вакво однесување е вообичаено за свила од пајак но не е исклучено и за сува свила добиена од *Bombyx mori*.

Регенерираните протеински влакна не се јаки но се растегливи, а покажуваат помала јакост во влажна состојба.

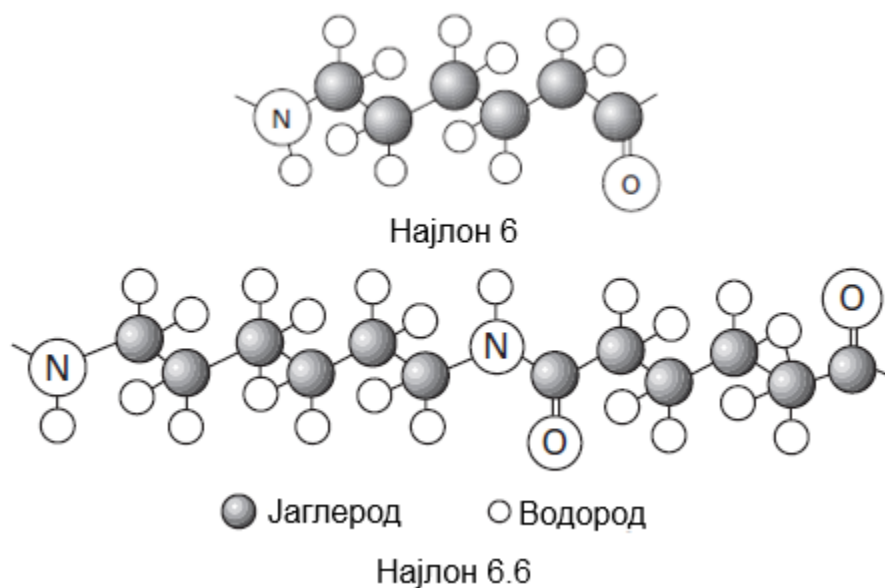


Слика 24.2. Морфологија на површината од свилено влакно (*Bombyx mori*) прекинато при затегање

Микрографот на прекинатата свилена влакна (*Bombyx mori*) покажува грануларна морфологија на површината од прекинот, слика 24.2.

§25. НАЈЛОН ВЛАКНА

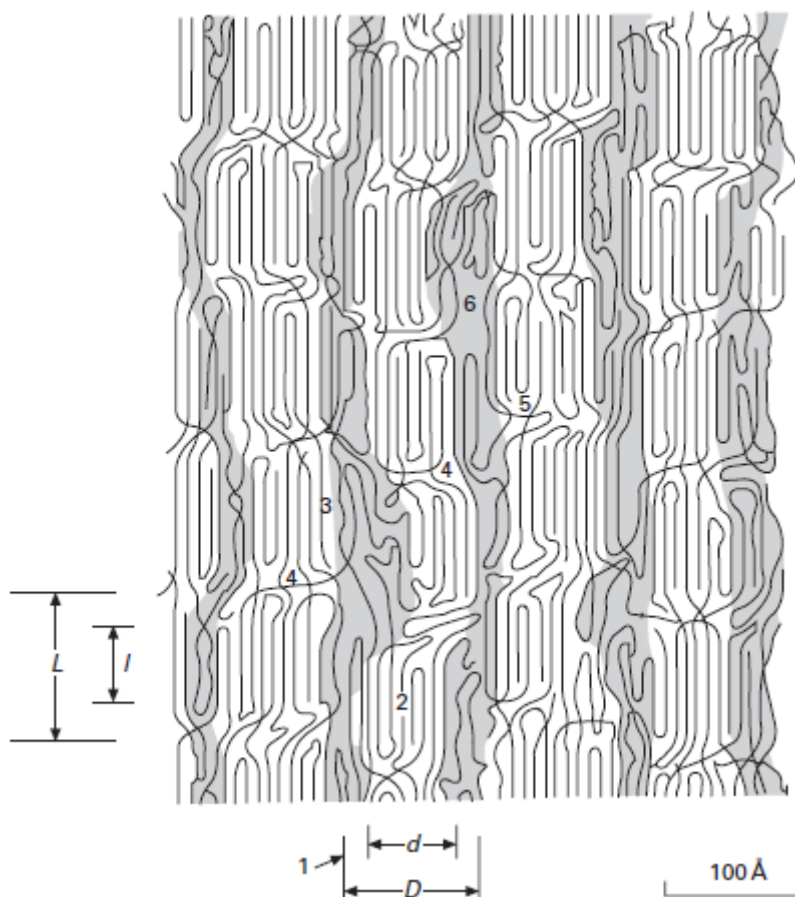
Поимот најлон влакна се однесува на група термопласти познати како алифатски полиамиди. Се карактеризираат со амидна група (-CONH) и ги има повеќе типови (на пример, најлон 6.6, најлон 6, најлон 6.12, најлон 4.6, најлон 12) со широк спектар на особини погодни за широк опсег на апликации, од влакна за зајакнување на авионски гуми до фини ткаенини за падобрани. Од сите типови на најлон влакна најширока примена имаат најлон 6 и најлон 6.6. Градбените блокови и распоредот на атомите во нив се прикажани на слика 25.1.



Слика 25.1. Распоред на атомите кај градбените блокови на најлон 6 и најлон 6.6

Најлон 6.6 се добива со полимеризација на 2 мономери (кои имаат по 6 јаглеродни атоми; оттука му доаѓа името) на пример хексаметилен диамин и адипинска киселина. Најлонот 6 се добива од цикличен мономер капролактан (кој содржи 6 јаглеродни атоми; оттаму му доаѓа името) кој со полимеризација гради полимер наречен поликапролактан (најлон 6).

Двата типови на влакна се произведуваат со извлекување од растоп и накнадно влечење и двете влакна имаат микрофибрилна морфологија. Вложени се многу напори за да се дефинираат различните структурни и морфолошки карактеристики на овие две влакна. Еден од предложените модели за најлон 6 со различни морфолошки детали е прикажан на слика 25.2.



Слика 25.2. Предложен модел за најлон 6 со морфолошки детали. 1. фибрил, 2. кристалити, 3. делумно растегнати молекули во меѓу-фибрилниот регион, 4. Врзувачки молекули во интерламинарниот регион, 5. Слободни краеви на веригата, 6. Празнини

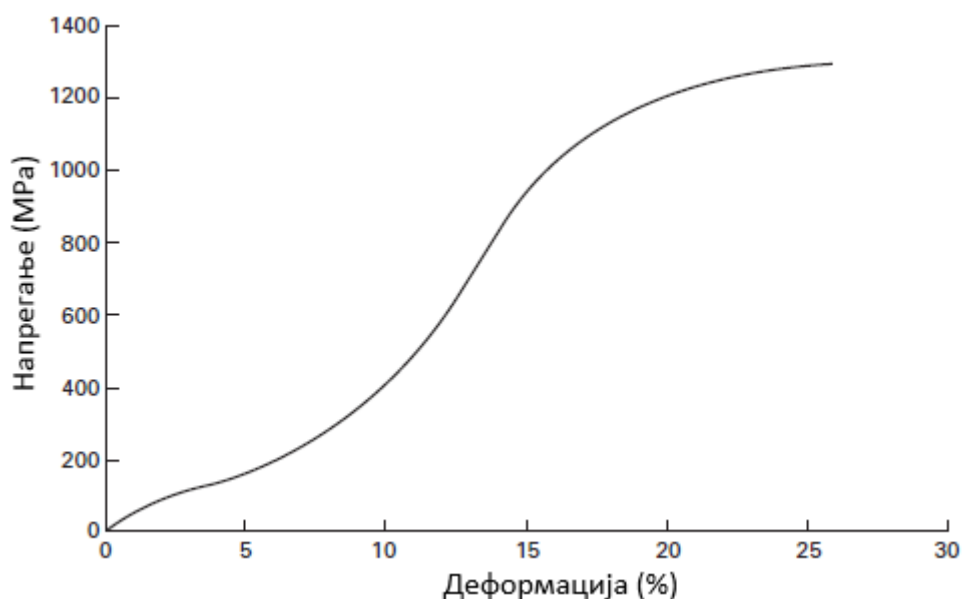
Алифатските полиамиди се главно полукристалинични и ориентирани. Во табелата 25.1 се претставени механичките особини на најлон 6 и најлон 6.6 како и температурата на стаклосување.

Механичките особини на двете влакна зависат од молекулската тежина и нејзината дистрибуција, структурната морфологија, ориентацијата на верижните молекули и од степенот на среденост. Треба да се спомни дека условите на извлекување, влечење и накнадниот термички третман во голем дел ја диктираат структурната морфологија на влакната. Двете влакна се одликуваат со висока жилавост. Во зависност од кристаличноста и молекулската ориентација, жилавоста може да им варира меѓу 50 и 90 cN/tex, или 550 и 1100 МПа. Тие се, исто така, високо-растегливи. Тоа се, по природа, хидрофилни влакна. Влијанието на влагата на прекидното издолжување е поголемо отколку на жилавоста. Со зголемување на температурата жилавоста им се намалува додека издолжувањето – се зголемува. Влијанието на температурата врз жилавоста и издолжувањето е поголемо при поголема влажност.

Табела 25.1. Механички особини на
влакна од најлон 6 и најлон 6.6

Особина	Единица	Најлон 6	Најлон 6.6
Жилавост	cN/tex	45-90	55-90
	MPa	540-1080	660-1080
Издолжување при прекин	%	15-40	15-30
Почетен модул	cN/tex	150-500	250-450
	MPa	1800-6000	3000-5400
Температура на стаклосување	°C	25	47

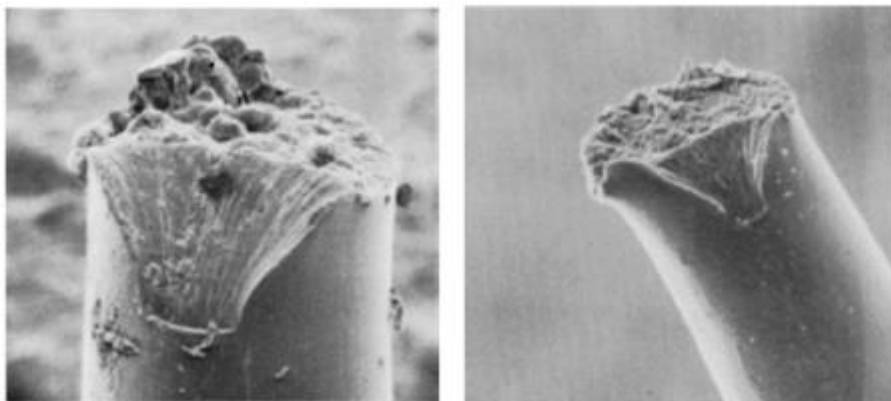
Најлон 6 и најлон 6.6 имаат одлична абразивна отпорност како и отпорност спрема замор на свиткување. Во однос на абразивната отпорност подобри се од сите други влакна освен од полиетиленските со голема молекулска маса. Ако се изложат подолго време на дејство на ултравиолетово зрачење трпат фото-оксидативна деградација која се манифестира со губење на јакоста.



Слика 25.3. Крива напрегање-деформација на предиво од најлон 6.6
наменето за зајакнување на автомобилски гуми.

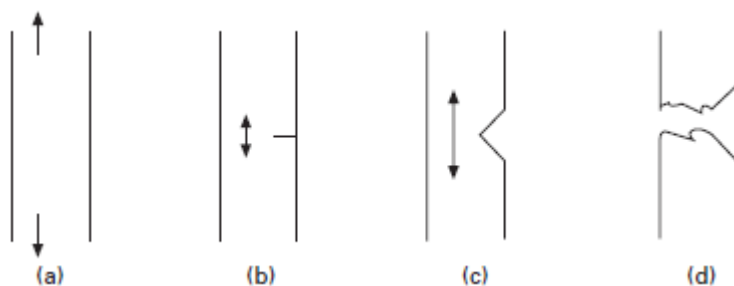
Добро ориентираните високо-жилави најлонски влакна покажуваат иницијално права линија кај напрегање-деформација кривата. Тоа ја покажува еластичната природа на материјалот до отприлика 1 % - тна иницијална деформација. Потоа следи попуштање на структурата од влакната како што е индицирано со „S“ обликот на кривата, слика 25.3.

Најлонските влакна покажуваат растеглив прекин при затегање, слика 25.4.



Слика 25.4. Микрограф на прекилот при затегање на најлонски влакна

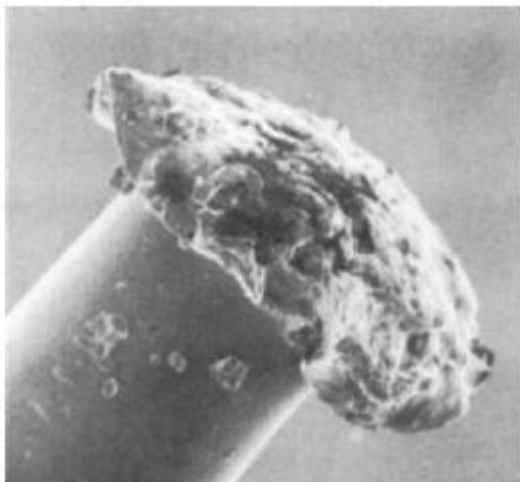
Механизмот на растегливиот прекин на најлонските влакна е прикажан на сликата 25.5. При затегање влакната се издолжуваат униформно. Кога оптоварувањето ќе достигне извесен степен се појавува иницијална пукнатина на површината каде што влакното има извесна мана. Со други зборови, пукнатината се јавува на место каде што има хемиско или физичко оштетување или концентрација на напрегање предизвикана од инклузии. На слика 25.5а



Слика 25.5. Фази на растегливиот прекин на влечено најлонско влакно

филаментот е оптоварен и затегнат; на сликата 25.5b покажува иницијализација на пукнатина која одма се отвора заради зголеменото напрегање, слика 25.5c. На сликата 25.5d зголемувањето на напрегањето го надминува отпорот на материјалот и доаѓа до кинење.

Ако деформацијата е при голема брзина, фрикционите сили меѓу макромолекулите значително се зголемуваат, што води кон зголемување на температурата на филаментот блиску до температурата на топење на материјалот. И кога ќе настане кинење мекиот крај од филаментот „протекува“ наназад добивајќи изглед на печурка, слика 25.6.



Слика 25.6. Микрограф на најлонски филамент прекинат при голема брзина на деформација

§26. ПОЛИЕСТЕРСКИ ВЛАКНА

Полиестерските влакна имаат водечко место меѓу синтетичките влакна. Уникатните особини на овие влакна се должат на присуството на ароматски и алифатски делови во макромолекулската верига и на средената молекуларна структура. Полиетилентерефталат-от (PET), слика 26.1, е предоминантен полиестер за производство на влакна. Причина за тоа е добрите апликативни особини, економичното производство и најмногу леснотијата за физичка и хемиска модификација.

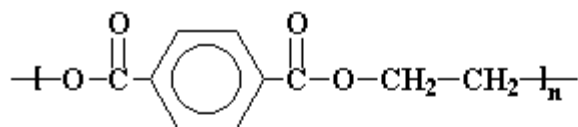
Полиестерските се најупотребуваните влакна во текстилната индустрија и можат да се најдат во повеќе апликативни области од класичен до технички текстил како и кај специјалните текстилни структури.

Поседуваат мала апсорпција на влага, добра еластичност и димензиона стабилност; добра отпорност на абење; добра отпорност на светлина и атмосферски влијанија; добра абразивна отпорност и добра способност за блендирање со памук. Релативно се отпорни спрема пламен, спрема микро-организми и инсекти; физиолошки се инертни и се термопластични. Во зависност од молекулската маса и структура, влакната омекнуваат во опсег од 230 – 245 °C а се топат при 256 – 280 °C. Преку процесот на влечење на влакната и нивна термичка стабилизација, собирањето на влакната може да се менува во широк опсег. Прекидната јакост може да варира во широки граници во зависност од процесните параметри. Овој опсег на особини е детерминиран од хемиската и физичката структура. Точката на топење на полиестрите е доволно висока за формирање на влакна и за крајната употреба. Високата температура на стаклосување од околу 70 °C, високиот степен на подреденост и добрата отпорност спрема термичка и хемиска деградација ги прави овие влакна применливи и за многу технички апликации.

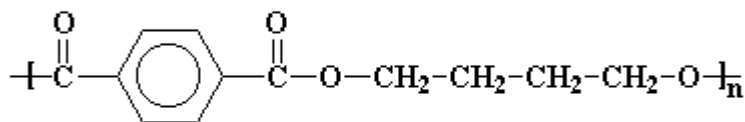
Покрај PET постојат и другите генерички типови на полиестерски влакна кои компензираат некои недостатоци на PET. Добро познатите политриметилентерефталат (РТТ) и полибутилентерефталат (РВТ), слика 26.1, влакна откриени се скоро истовремено со PET. Главните предности на РТТ и РВТ во споредба со PET се:

- РТТ има подобар повраток (по истегнувањето) од РВТ и РТТ,
- РВТ и РТТ се помек и поеластични од од PET,
- РВТ и РТТ даваат поголем комфор од PET,
- РТТ дава најдобро чувство при допир, РВТ е сличен со РТТ,
- РТТ и РВТ лесно се бојата при 100 °C; за PET е потребна повисока температура (130 °C).

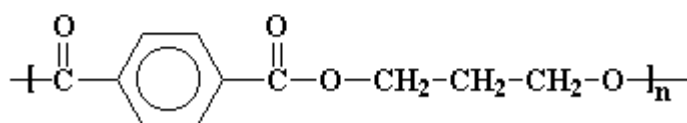
PET полимерот се добива со загревање на бис-(2-хидроксилетил) терефталат на 270 °C со што се добива полиетилентерефталат и етилен гликол како нуспроизвод.



Полиетилентерефталат (PET)



Полибутилентерефталат (PBT)

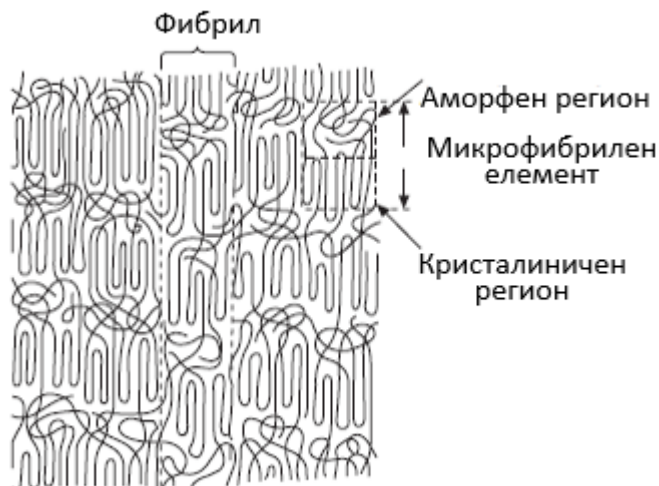


Политриметилентерефталат (РТТ)

Слика 26.1. Структурни формули на полиестерски влакна

Полиестерските влакна може да се смета дека се изградени од кристалинични, ориентирани некристалинични (мезофаза; врзивни молекули) и некристалинични (аморфни) региони. По својата структурна градба полиестерските влакна се семикристалинични. Основен структурен градбен елемент на сите семикристалинични влакна е микрофибрилот. Кај PET влакната дебелината на микрофибрилот е 10 nm, а должината 1 μm. Микрофибрилите се долги (15 nm), тенки елементи со елиптичен попречен пресек. Изградени се од периодично повторувачки аморфни и кристалинични региони кои се премостени

со мноштво врзивни молекули, слика 26.2. Секој од овие три фази се карактеризира со својата волуменска фракција и ориентацијата.

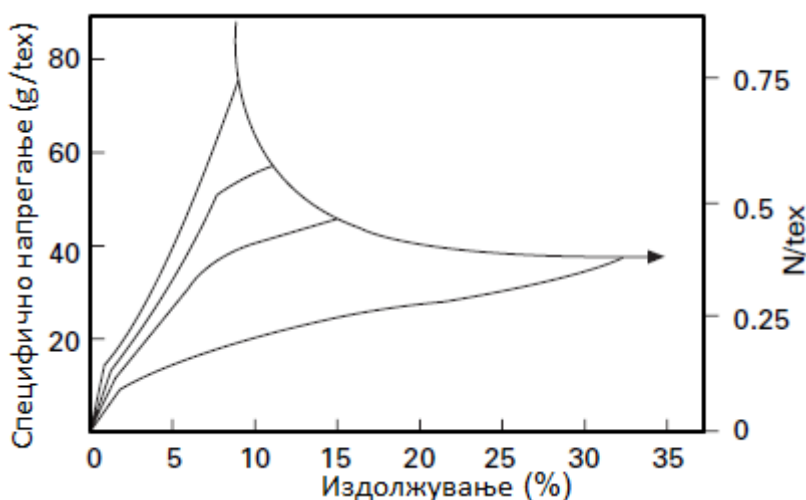


Слика 26.2. Структурен модел на семикристалинични влакна

Регуларните (линеарни) структури, без страничните вериги, се способни да формираат кристалиничен поредок кај полимерните материјали. Некои полимери, вклучувајќи го и PET, се во аморфна состојба по солидификацијата. При влечењето и термичката стабилизација се формира семикристалинична структура. Релацијата меѓу механичките особини и структурата на полимерните влакна, на тој начин, силно зависи од процесните параметри.



Релацијата меѓу механичките особини и структурата на полимерните влакна силно зависи од процесните параметри.

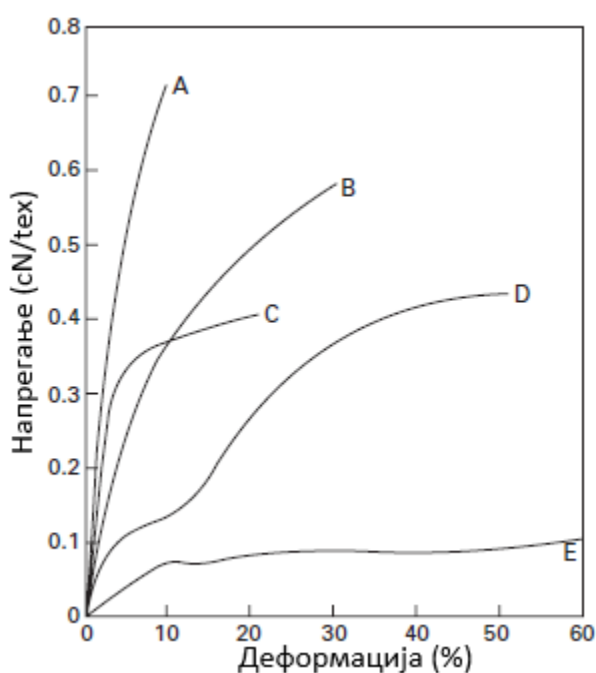


Слика 26.3. Криви напрегање – деформација на полиестерски влакна со различна ориентираност



Слика 26.4. Микрограф на прекилот при затегање на полиестерските влакна

Таа релација е добро илустрирана на сликата 26.3 каде се прикажани кривите напрегање – деформација за влакна со различен степен на ориентација. При зголемување на степенот на ориентација на влакната (со нивно влечење) јакоста и крутоста се зголемуваат додека прекидното издолжување се намалува. При кинење од затегање полиестерските влакна покажуваат растеглив прекин, слика 26.4.



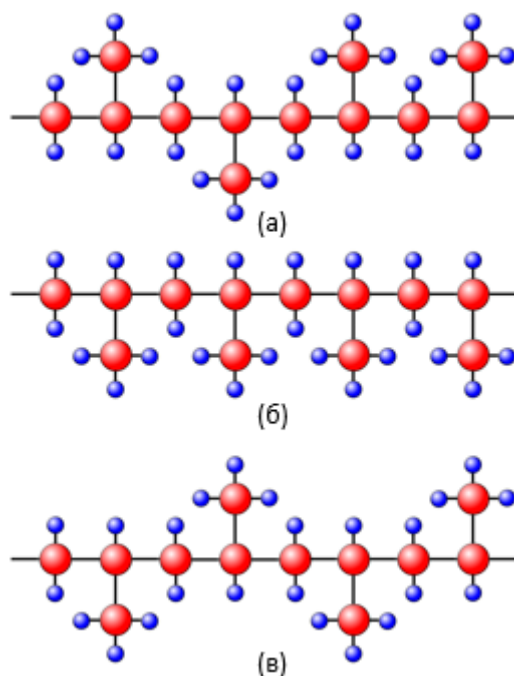
Слика 26.5. Типични криви напрегање деформација за PET влакна; A - високо-јак филамент; B – високо-јаки штапелни; C – филамент со нормална јакост; D – штапелни со нормална јакост; E – пред-ориентирано филаментно предиво

Обликот на типичните кривите напрегање – деформација за PET влакната и филаменти е прикажан на слика 26.5. Лесно може да се види дека филаментите (континуираните влакна) имаат многу поголем иницијален модул од штапелните

vlakna. Високо-јаките филаментни и штапелни vlakna имаат многу висока прекидна јакост, но релативно мало издолжување. Пред-ориентираното предиво покажува мала јакост но многу големо издолжување при прекин. Вакви криви покажуваат и сите типови на кополимери доколку по влечењето vlakната термички се третираат.

§27. ПОЛИПРОПИЛЕНСКИ ВЛАКНА

Полипропиленот (PP) се добива со полимеризација на пропилен. Се наоѓа во три изомерни форми и тоа како: **атактичен** (аморфен), **изотактичен** и **синдиотактичен**, слика 27.1. Од нив само последните два изомери можат да формираат кристали и имаат интересни механички карактеристики. Изотактичниот PP е најмногу користениот стереоизомер.



Слика 27.1. Изомерни форми на полипропилен; (а) атактичен, (б) изотактичен (в) синдиотактичен

Изотактичниот PP може да кристализира во три различни форми: α , β и γ , од кои моноклиничната, α , е термички најстабилната. Заради јаглеводородната структура, посебно заради присуството на терцијална C-H врска, PP е релативно чувствителен на термичка и фотохемиска оксидација. Заради тоа не може да се процесира, складира и користи без стабилизатори.

PP се добиваат со извлекување од растоп и тоа по два процеси во зависност од брзината на кристализација: процес на кратко извлекување (брза кристализација) и процес на долго извлекување (релативно бавна кристализација). Кај процесот на долго извлекување, влечењето на vlakната е можно да се врши во стопена состојба. Ако се примени и втора фаза на влечење,

во цврста состојба, може да се добијат влакна со многу голема јакост од 620 МПа што претставува 15 пати поголема вредност од онаа на РР во невлакнеста форма.

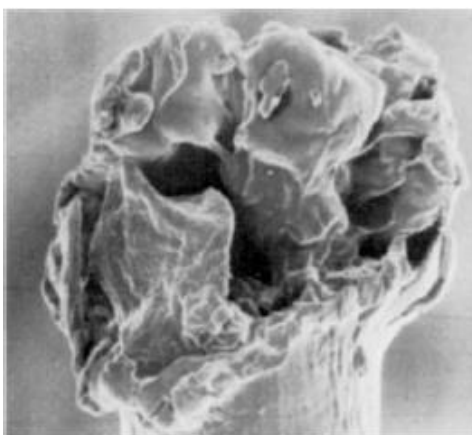


Што е однос на влечење?

1. Мерка за степенот на истегнување при ориентацијата на влакната или филаментите, која се изразува како однос на површините од попречните пресеци од невлечениот и влечениот материјал.
2. Однос на брзините на првиот и вториот цилиндар кои се користат за влечење во текот на ориентацијата на влакната.

Типичните вредности на механичките карактеристики, во зависност од односот на влечење (*draw ratio*), за изотактичен РР (iPP) и синдиотактичен РР (sPP) се дадени во табелата 27.1. Овие вредности зависат од температурата и брзината на деформација во текот на тестот, моларната маса на РР, ориентацијата на веригите и степенот на кристалинност.

При затегање микрографската снимка покажува растеглив прекин на РР влакна, слика 27.2.



Слика 27.2. Прекинат РР влакно при затегање

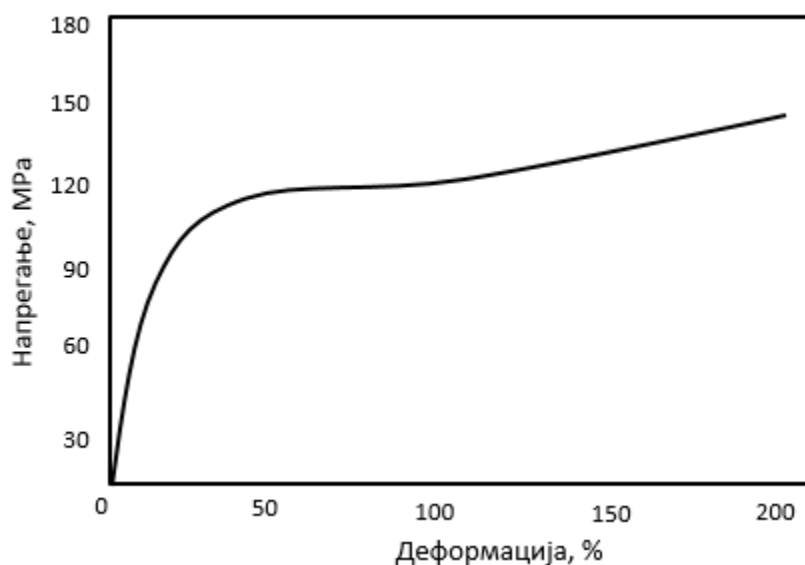
На сликата 27.3 прикажана е кривата напрегање-деформација која е добиена од тестирање на iPP геотекстилно влакно, со дијаметар од 30 μm , испитувано при брзина од 50 mm/min.

Во споредба со невлакнест РР, влакната покажуваат повисок модул на еластичност и јакост но помала деформација при прекин.

Кај РР со ултра висока молекулска тежина (UHMW-PP), за максималниот модул е добиена вредност од 40,4 GPa.

Табела 27.1. Особини на затегање во функција од односот на влечење за iPP и sPP со слични моларни маси

Однос на влечење	Јакост на затегање MPa		Модул на затегање GPa		Деформација %	
	iPP	sPP	iPP	sPP	iPP	sPP
$\lambda = 4$	200	130	3	0,8	150	100
$\lambda = 7$	400	280	6	1,7	50	50
$\lambda = 10$	600	-	15,5	-	20	50



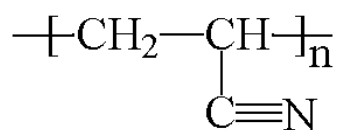
Слика 27.3. Типична крива напрегање-деформација за iPP влакна

Влакната од sPP покажуваат механичко однесување слично на гума ако се подложат на циклично издолжување-релаксирање. Ова е најважната и необична физичка особина на sPP влакната. Овие влакна имаат значително помал модул на затегање од iPP. Вредноста на модулот, за влакна со голем однос на влечење, е околу 3 GPa.

§28. ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛНИ ВЛАКНА

Акрилните влакна се извлекуваат од полимери кои содржат во веригата минимум 85 % по маса акрилонитрил. Другиот тип на акрилонитрилни влакна, познати како, *модакрилни влакна*, е дефиниран како материјали кој содржи минимум 35 % и не повеќе од 85 % по маса акрилонитрил. Акрилните и модакрилните влакна обавезно се влечат и термички стабилизираат, по извлекувањето, за да се постигнат употребните карактеристики. Првобитно овие влакна се произведувани со извлекување од раствор, но заради заштита на околината, покасно, е развиен процес за извлекување од растоп кој е денес единствен процес за нивно производство.

Структурната формула на полиакрилонитрилот е прикажана на слика 28.1.



Слика 28.1. Полиакрилонитрил

Скоро сите полиакрилонитрилни смоли се кополимери добиени од смеси на мономери со акрилонитрил како главна компонента.

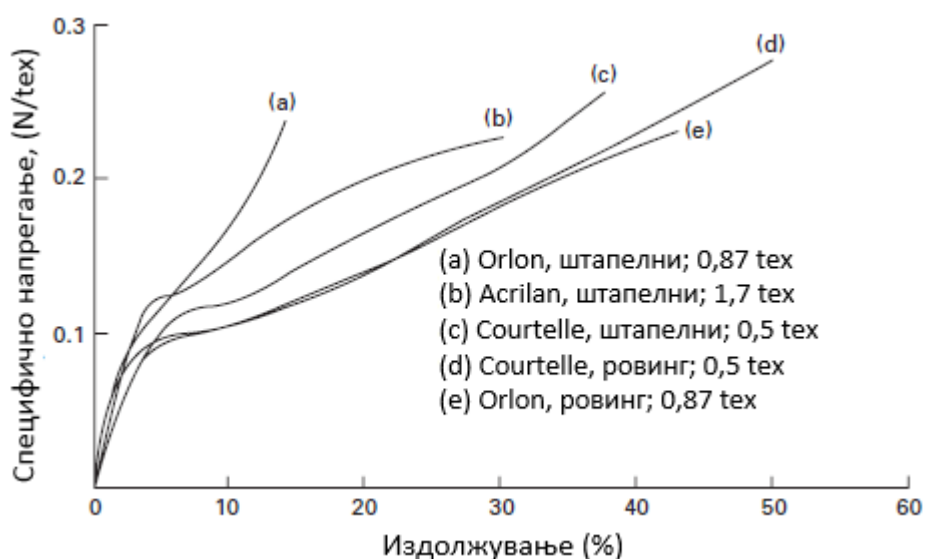
Акрилните и модакрилните влакна главно се произведуваат како ровинг и штапелни влакна. Линеарната густина на произведените влакна се движи во границите од 0,84 до 17 dtex, но најчести вредности се 1,7 dtex за штапелните влакна и 3,3-5 dtex за ровингот. Типичните вредности на некои физички карактеристики на акрилните и модакрилните влакна се дадени во табелата 28.1.

Табела 28.1. Физички особини на акрилни и модакрилни влакна

Особина	Единица	Акрилни	Модакрилни
Специфична тежина	-	1,14-1,19	1,28-1,37
Жилавост суво влажно	N/tex	0.09-0.33 0.14-0.24	0.13-0.25 0.11-0.23
Прекидно издолжув. суво влажно	%	25-45 29-61	25-45
Иницијален модул суво влажно	N/tex	3.5-4.9 3.1-4.9	2.6-3.5
Еластичен повраток 2 % 10 %	%	99 -	95-100 70-95
Апсорпција на влага	%	1.5-2.5	1.5-3.5
Абразивна отпорност	-	умерена	умерена
УВ отпорност	-	одлична	одлична
Хемиска отпорност	-	одлична	одлична

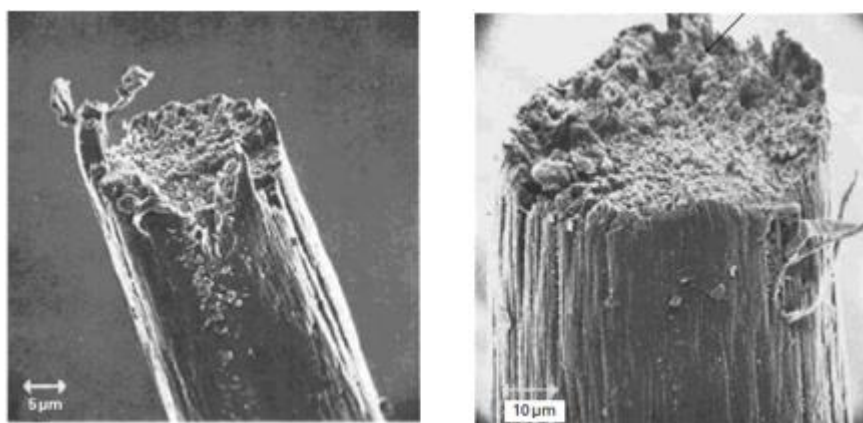
Јакоста на затегање им е значително помала од таа на полиестерските и полиамидните влакна, но поголема отколку на волната и е на ниво на таа од памукот. Она што ги прави различни акрилните влакна од другите вообичаени текстилни влакна е резултат на диполарната интеракција меѓу нитрилните групи. Како резултат на тоа тие поседуваат: висока електрична отпорност, умерена запаливост, одлична отпорност спрема сончевата светлина како и одлична

хемиски и микробиолошка отпорност. Заради поларноста влакната имаат умерена апсорпција на влага, 2-3 %. Присуството на влага ја прави температурата на стаклосување на влакното релативно ниска – 70 °C. На



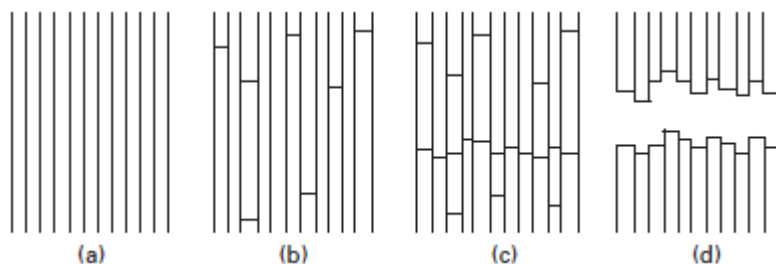
Слика 28.2. Криви напрегање-деформација за акрилни влакна

сликата 28.2 се прикажани кривите напрегање-деформација за некои типови комерцијални акрилни влакна. Прекилот при затегање им е грануларен со умерена рапавост на површината, слика 28.3.



Слика 28.3. Грануларен прекин при затегање на акрилните влакна

За акрилните влакна со мал степен на усуканост предложен е модел на кинење претставен на сликата 28.4.



Слика 28.4. Модел: (a) структурни елементи; (b) при напрегање елементите почнуваат да се кинат; (c) трансферот на напрегањето предизвикува кумулативен прекин по попречниот пресек; (d) грануларен прекин

§29. ВИСОКОПЕРФОРМАНСНИ ВЛАКНА

29.1. ВОВЕД

Генерално, сите влакна, освен најевтините што ги користиме во секојдневието, се високоперформансни влакна. Природните влакна (памук, волна, свила, и др.) имаат високи естетска привлечност и се користат како модни ткаенини за облека, тапаторство, теписи. Пред повеќе од стотина години тие биле влакна кои се користеле и во инженериски апликации т.е. и како технички или индустриски текстил. Со развојот на произведените влакна (рајон, ацетат, најлон, полиестер и др.) во првата половина од дваесеттиот век, не само што се постигнати нови високоперформансни квалитети за модните ткаенини, но тие понудија и супериорни технички карактеристики. Така на пример, зајакнувањето на автомобилските гуми со памучен гајтан до 1900, премина на низа подобрени типови на рајон од 1935 до 1955, а потоа на најлон влакна, полиестерски влакна, челична жица за конечно арамидните влакна да го најдат своето место тука. Слични замени на природните и регенерираните влакна со синтетички настана кај повеќето текстилни материјали.

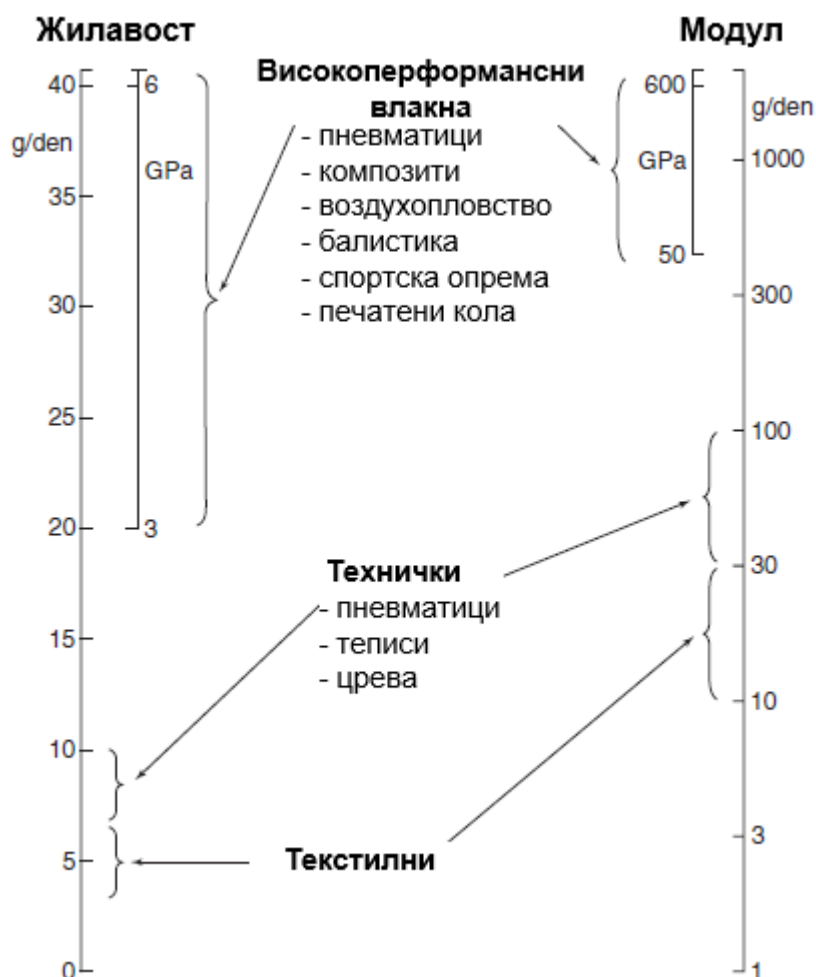
Максималната јакост на комерцијалните најлонски и полиестерски влакна достигна $\sim 1 \text{ N/tex}$ или 1 GPa , со издолжување при прекин поголем од 10%. Комбинацијата на умерено голема јакост и умерено големо издолжување резултира со многу голема енергија на кинење или **работа за кинење**. Добрите особина на повраток во првобитната состојба по напрегањето значи дека овие влакна можат да поднесат повеќекратни енергетски шокови.

Во последниот квартал од дваесеттиот век се појави втората генерација од синтетички влакна, како што е покажано на слика 29.1. Овие влакна т.н. високоперформансни влакна покажаа квантитативен скок во јакоста и крутоста. Тоа се високо-модулни, НМ (*high-modulus*), и високо-живави или високо-јаки, НТ (*high-tenacity*) влакна. Тоа е типична карактеристика на полимерните и неорганските

vlakna. Карактеристично за новата генерација на vlakna е тоа што тие не се користат за облека, тапазирање или за други домашни потреби, освем ако не се бараат некои технички карактеристики како што се заштита од пожар, балистичка заштита, итн.

Стаклените vlakna, кои имаат долга историја, но станаа комерцијално важни во 1930-тите години, спаѓаат во првата генерација на вештачки vlakna. Меѓутоа, заради нивните особини и широка примена како и развојот на нови подобрени типови на стаклени vlakna, тие немаат изгубено многу од својата актуелност. Всушност, стаклените vlakna се најупотребуваните зајакнувачи за пластичните композити за општа намена.

Има и трета генерација на vlakna, кои се појавуваат последниве десетици години – нано vlakната. Тоа се vlakna чиј дијаметар е на ниво на нано скала (еден милјардти дел од метарот или 10^{-9} m) кои пред се наоѓаат примена во индустријата и медицината.



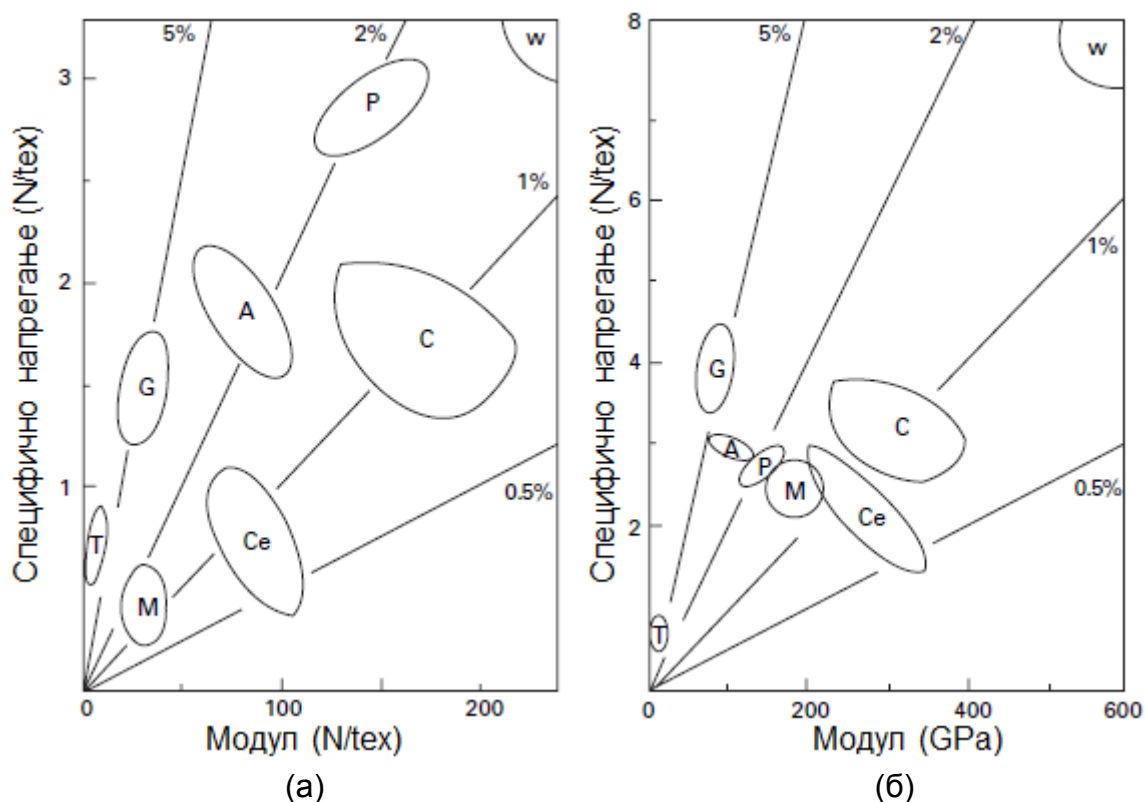
Слика 29.1. Промена во јакоста и крутоста од првата до втората генерација на синтетички vlakna

Некои типични криви напрегање – деформација за НМ-НТ vlakната се претставени на слика 20.3. Треба да се напомене дека не е извршено, при еден

ист тест, комплетно карактеризирање на високоперформансните влакна. Податоци кои се среќаваат во литературата се главно од производителите и се најчесто од различни услови на тестирање што оневозможува да се направи непристрасна споредба на податоците, покрај другото и заради фактот што производителите, од комерцијални причини, даваат пристрасни податоци.

Со извесна апроксимација НМ-НТ се однесуваат според Хуковиот закон (*Hooke's law*) со деформација пропорционална на напрегањето, а прекилот е остар без точка на попуштање. Нема значајна девијација во линеарноста кај керамичките, стаклените и јаглородните влакна. Ниско-модулните арамидни влакна како што е Kevlar 29 покажуваат поголема деформација при затегање и свиткување, но овај ефект е редуциран кај високо-модулните влакна, Kevlar 49 и Kevlar 149, кои подлежат на дополнително процесирање. Високо-модулните полиетиленски влакна покажуваат ефект на омекнување при високи растегнувања. Конкавната девијација на арамидните влакна е најзабележителна при мали напрегања додека конвексната девијација на високо-модулните полиетиленски влакна - при високи напрегања.

Груба претстава за компаративните вредности на јакоста, крутоста (просечниот модул) и растегливоста што може да се очекува за различни типови на НМ-НТ влакна е прикажана на слика 29.2. За попрецизен податок, вистинските вредности треба да се проверат или тестираат.



Слика 29.2. Споредба на регионите со механички особини кои приближно ги покриваат разните типови на влакна; (а) во однос на тежината, (б) во однос на волуменот

Ознаките на сликата го имаат следново значење:

A – арамидни влакна

C – јаглородни влакна

Se – керамички влакна

G – стаклени влакна

M – метални влакна

P – високо-модулни полиетиленски влакна (HMPE)

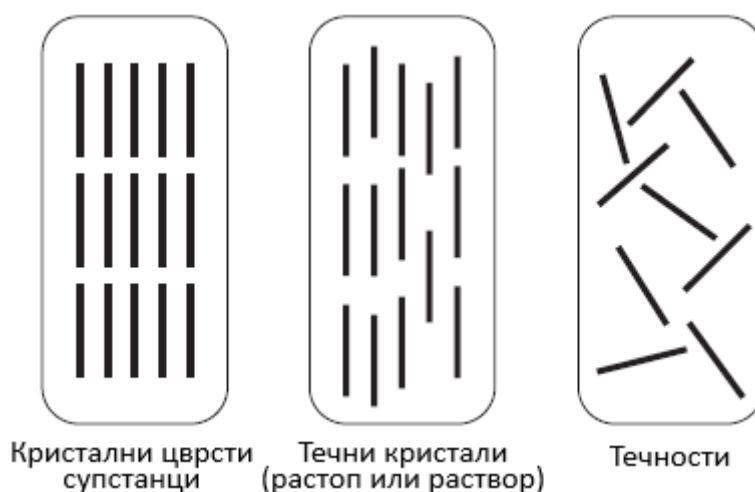
T – текстилни влакна пр. најлон или полиестер

W - еднокристални вискерси

Правите линии го покажуваат прекидното издолжување според Хуковиот закон.

29.2 ТЕЧНО-КРИСТАЛНИ ОРГАНСКИ ВЛАКНА

Современите влакна врз база на течно-кристални полимери (ТКП) покажуваат извонредни механички особини на затегање. Можат да постигнат модул од 300 GPa и јакост на затегање од 6 GPa. Покрај тоа се карактеризираат со мали густини во опсег од $1,38-1,56 \text{ g/cm}^3$ што овозможува да се добијат импресивни специфични особини. Како што може да се види од сликата 29.3 течно-кристалната (ТК) фаза покажува некои особини вообичаени за тридимензионално подредените кристали, а некои други типични за несредените изотропски течности. Кристалините цврсти супстанции се подредени во трите

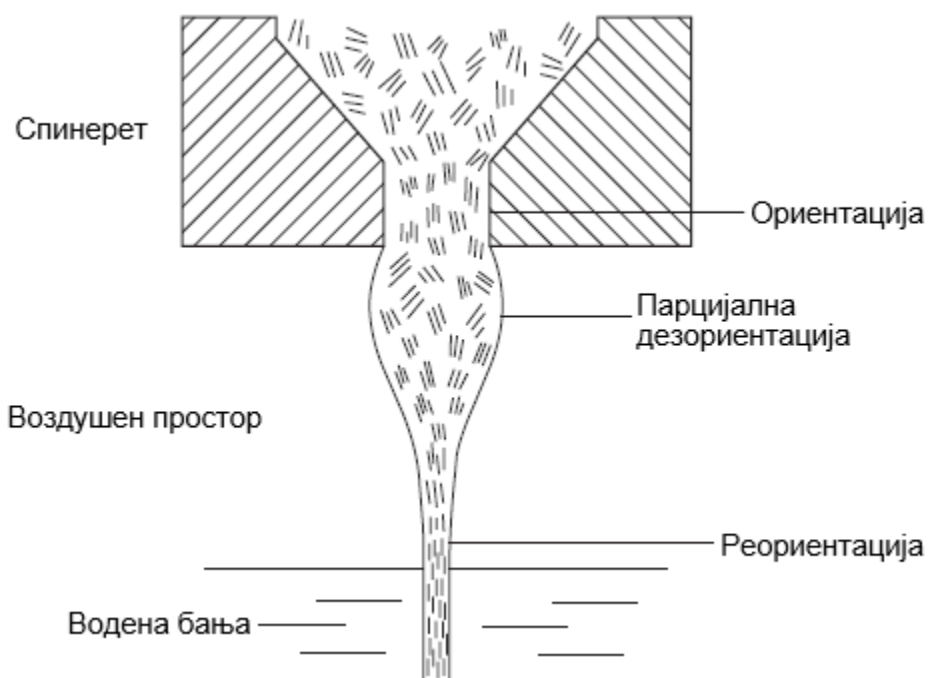


Слика 29.3. Структура на цврсти кристали, течни кристали и течности

димензии додека течностите се целосно несредени: течните кристали се наоѓаат меѓу овие два екстремни состојби т.е. тие покажуваат среденост во една или две димензии но не и во сите три. Од генерално гледиште, и малите и макромолекулите можат да имаат ТК карактеристики. Молекулската асиметрија е најважното барање за макромолекулите со цел да создадат различни можни

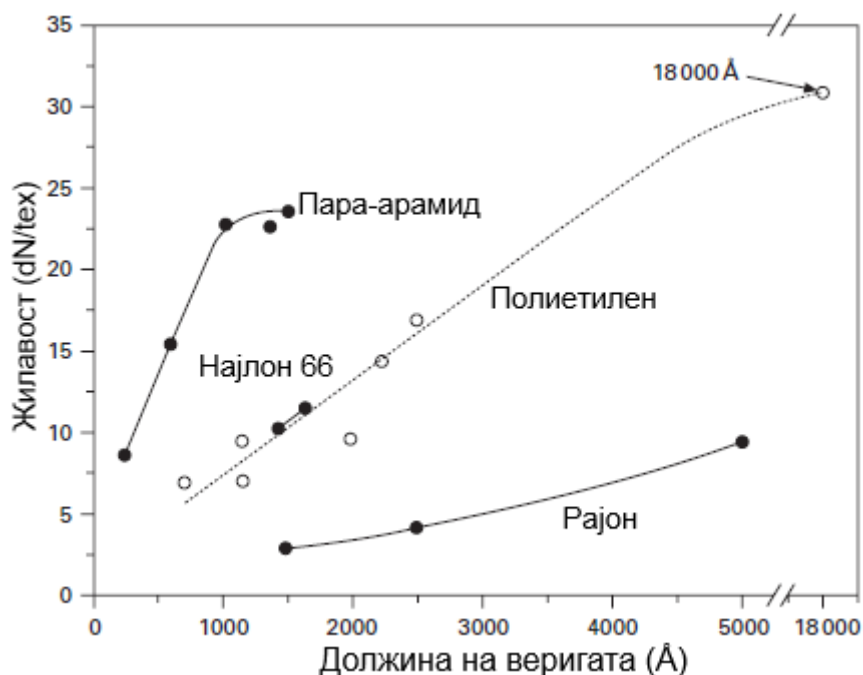
ТК фази – наречени **мезофази**. Оваа асиметрија може да биде манифестирана во вид на стапчиња (*rods*) со аксијален однос поголем од 3 или тенки плочки со биаксијален поредок. Друго фундаментално барање е да има доволно голема крутост на веригите. Додека макромолекулите кај конвенционалните полимери имаат должина од редот на еден нанометар (на пример, 0,58 nm кај полиетиленот; 1,0 nm кај полиамидот 6.6) макромолекулите кај ТКП можат да достигнат неколку десетина нанометри. Ароматските полиамиди имаат должина од редот на 20-40 nm, ароматските хетероциклични соединенија од редот на 50-70 nm и ароматските полиестри од редот на 30-80 nm. Течните кристали можат да се поделат на термотропни и лиотропни. Течно-кристално однесување може да случи или во разредена состојба (**лиотропни течни кристали**) при критична концентрација или во стопена состојба (**термотропни течни кристали**) во одреден температурен опсег.

Лiotропните и термотропните ТКП се можеби идеалните прекурсори за формирање на влакна. Во разредена или растопена состојба степенот на униаксијална ориентација е обично многу висок и додатно се врши ориентација при извлекувањето (екструзијата) на влакната низ дизните во правец на течењето на материјалот, слика 29.4.



Слика 29.4. Формирање на структурата при извлекувањето на влакната

За производство на влакна се користат и лиотропни и термотропни ТКП. Но, без разлика на тоа, извонредни механички особини на ТК влакна можат да се постигнат само ако полимерот има доволно голема молекулска тежина. Всушност, како што е прикажано на слика 29.5, жилавоста на влакната значително зависи од должината на веригата.



Слика 29.5. Жилавоста во функција од просечната должина на веригата кај различни влакна

Индустриското производство на високоефективните влакна врз база на ТКП започнува во раните 1960-ти години со патентите за DuPont-овите ароматски полиамиди. Современите влакна врз база на ТКП можат да се поделат во три класи:

- (а) ароматски полиамиди,
- (б) ароматски хетероциклични соединенија, кои покажуваат лиотропно однесување, и
- (в) ароматски кополиестри, кои покажуваат термотропно однесување.

Сепак, од овие три класи, далеку најголемо значење и примена имаат ароматските полиамиди.

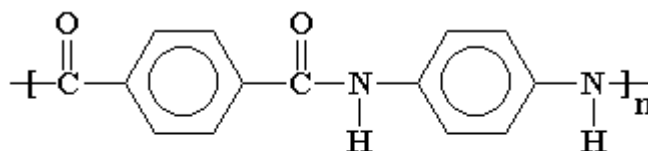
§30. АРАМИДНИ ВЛАКНА

Ароматските полиамиди почнале да наоѓаат комерцијална употреба во раните 1960-ти години со лансирањето на пазарот на мета-арамидното влакно Nomex (Nomex® е заштитено име на фирмата DuPont) со што се отворија нови хоризонти во полето на термичката и електричната изолација. Нешто покасно, во 1971 година било развиено пара-арамидно влакно со многу поголема жилавост и модул кое е комерцијализирано под трговската ознака Kevlar (Kevlar® е заштитено име на фирмата DuPont). Друг тип на пара-арамидно влакно, Twaron (Twaron® е заштитено име на фирмата Teijin Aramids), слично на Kevlar, се појави на пазарот при крајот на 1980-тите години.

“Арамидно влакно“ е генеричко име за специјален тип на ароматско полиамидно влакно кое е дефинирано како “синтетичко влакно кај кое формирачката супстанца на влакното е синтетички полиамид со долга верига кај која, најмалку 85% од амидните врски (-CO-NH-) се директни сврзани со два ароматски прстени“. Што значи, кај арамидите повеќето од амидните групи се директно сврзани со два ароматски прстени. Не е ни чудно што арамидите имаат сосема различни особини од алифатските полиамиди кои не содржат ароматски групи во нивната главна верига.

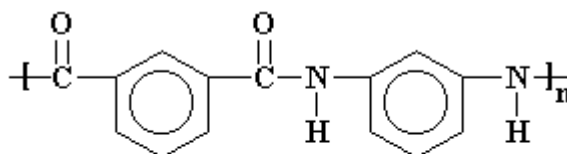
Името им доаѓа од кованицата ароматски полиамид.

Kevlar и Twaron се полиамиди, кај кои сите арамидни групи се разделени со пара-фенилен групи односно амидните групи се сврзуваат за фенилните прстени една наспроти друга на јаглеродните атоми на позиција **1 и 4**.



Кај Kevlar ароматските прстени се поврзани во веригата преку позициите **1 и 4**. Ова е *пара* позиција

Nomex, од друга страна, постојат и мета-фенилен групи, односно амидните групи се сврзани на фенилниот прстен на позиција **1 и 3**.



Кај Nomex ароматските прстени се поврзани во веригата преку позициите **1 и 3**. Ова е *мета* позиција

Хемискиот назив на Nomex е поли-*m*-фенилен изофталамид (MPIA), додека на Kevlar и Twaron, поли-*p*-фенилен терефталамид (PPTA).

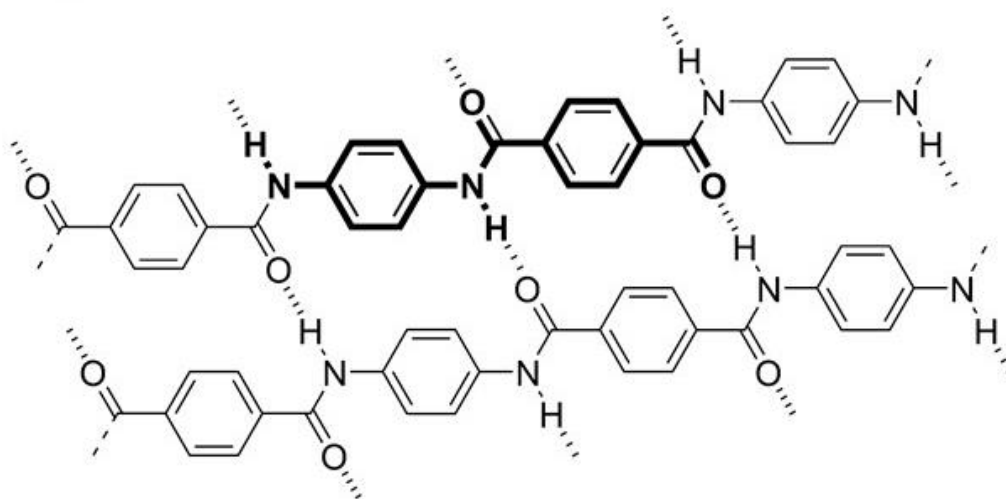
Ароматските полиамиди од типот PPTA обично се синтетизираат преку ниско-температурна поликондензациона реакција на *p*-фенилен диамин (PPD) и терефталоил хлорид (TCL). Алтернативен начин е синтеза со реакција на ароматски дикарбоксилни киселини и диамини. Оваа синтеза е поевтина бидејќи дикарбоксилните киселини се поевтин стартен материјал. Како растворувач се користи концентрирана сулфурна киселина. Nomex се произведува со кондензациона реакција од мономерите *m*-фенилендиамин и изофталоил хлорид.

30.1. СТРУКТУРА

Уникатните механички особини на арамидните влакна се тесно поврзани (како и кај сите други влакна) со нивната посебна микроструктура која се карактеризира со неколку особености: фибрили, радијално плисирани слоеви и разлика во површина-внатрешност градбата.

30.1.1. Кристалинична структура

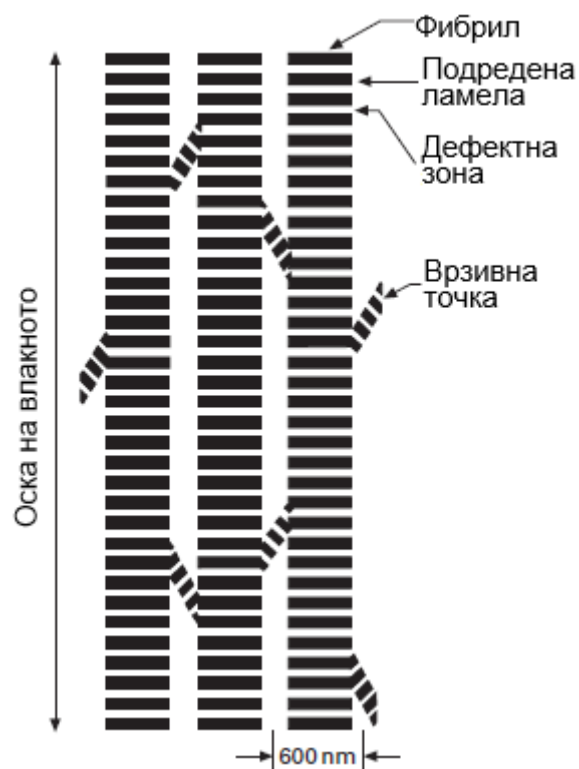
Пара-арамидните влакна се високо кристалинични со полимерни вериги забележливо ориентирани долж оската на влакната. Аморфната фаза е виртуелно отсутна и само многу мала фракција (неколку %) од неориентираната кристалинична фаза е присутна. Покрај ова, големата јакост на влакната се должи и на јаката водородна врска што се воспоставува меѓу азотот и кислородот од амидната група, меѓу соседните вериги, како што е прикажано на сликата 30.1.



Слика 30.1. Соседните вериги се поврзани со водородни врски

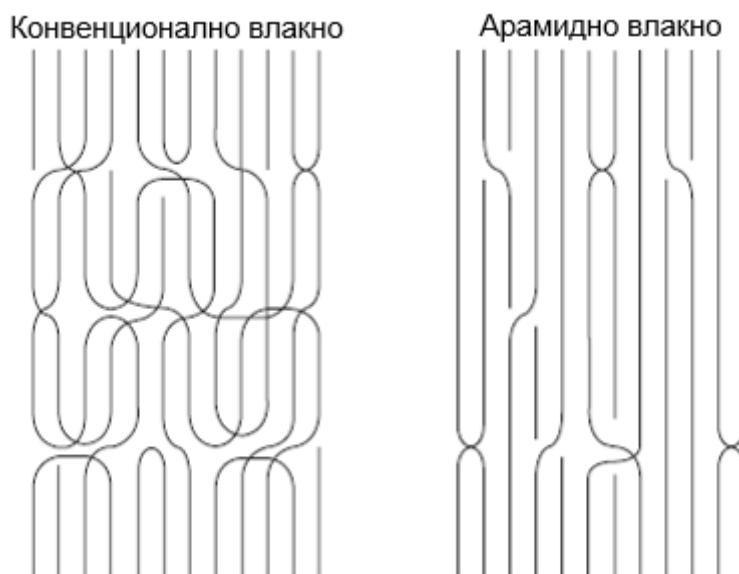
30.1.2. Фибрилна структура

Кристалиничната структура на арамидните влакна се состои од подредени ламели, слика 30.2 т.е. пластови на слоеви на приближно растојание од 35 nm поставени нормално на оската на оската од влакното и разделени со дефектни слоеви. Анализата со дифракција на X-зраци покажала дека кристалиничната корелациона должина (тоа е статистичка просечна должина долж оската на влакната каде полимерните вериги ја задржуваат структурната перфекција) изнесува 80 – 100 nm кај Kevlar.



Слика 30.2. Модел на фибрилна структура

Разликата меѓу конвенционалните и ТК арамидни влакна е објаснета со моделот на сликата 30.3. За разлика од конвенционалните влакна високо насочените вериги од ТК арамидни влакна преминуваат преку соседните кристалинични слоеви со минимални закривувања на веригата и веројатно половината од краевите на веригите завршуваат во дефектните зони. Со други зборови,



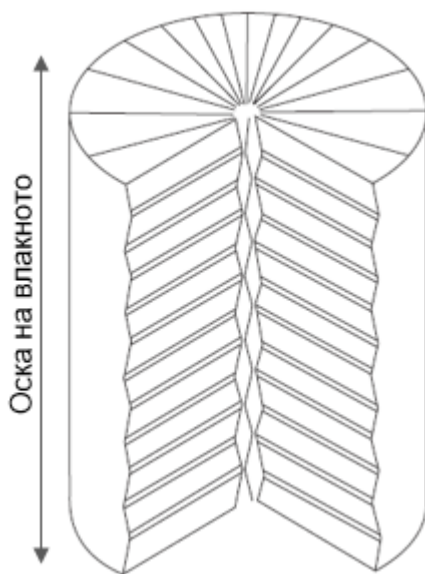
Слика 30.3. Споредба на структурата на арамидно влакно со таа на конвенционалното влакно

постои значителна континуираност на веригите кои во голем дел се протегаат низ дефектните зони. Всушност, како што е покажано со анализи на дифракција на Х-зраци, веригите во дефектните зони не формираат аморфна фаза како кај конвенционалните влакна. Ламелите, како што рековме се разделени една од друга 35 nm и меѓупросторот претставува дефектна зона.

Всушност, фибрилната структура се надградува на кристалиничната структура.

30.1.3. Плисирана структура

Плисираната структура, генерално, е карактеристична за сите ориентирани течно-кристални полимери. Овој феномен се уште не е разјаснет од научната јавност. Една од претпоставките е дека релаксацијата на стресот и разликата во експанзијата на површината и внатрешноста на влакното при иницијалното ладење на влакното (во водената бања, слика 29.4) може да предизвика периодично плисирање. Плисираната структура е надградба над фибрилната структура. Покрај тоа, се претпоставува дека плисираната структура можеби има силно влијание врз механичките карактеристики при затегање, особено врз модулот.



Слика 30.4. Плисирана структура

30.1.4. Површина-внатрешност структура

Покрај претходните структурни особености, арамидните влакна, исто така, покажуваат, и површина-внатрешност (*skin-core*) структура. Површинските фибрили се униформно подредени во аксијална насока, додека фибрилите во внатрешноста не се подредени. Површинските и внатрешните региони се разликуваат и во однос на густината, содржината на празнини и фибрилната

ориентација. Од практична гледна точка, најдено е дека површината не може да се обојува, за разлика од внатрешноста. Од тие причини, парцијалната површинска дефибрилација или оштетување на влакната може да ја подобри нивна обоивост. Уште еден доказ за оваа структура е фактот дека е најдено разлика во еластичниот модул кај овие два региони – површината и внатрешноста. Имено, површината има модул од 60,8 GPa, додека внатрешноста – 13.4 GPa.

30.2. ОСОБИНИ НА АРАМИДНИТЕ ВЛАКНА

30.2.1. Физички и термички особини

Арамидните влакна имаат природно жолтеникава (златна) боја заради присуството на ароматските прстени, густина од 1,43-1,46 g/cm³ и типичен дијаметар од 12 μm.

Ароматските прстени во 'рбетната верига причинуваат висока термичка стабилност. Температурата на стаклосување на пара-арамидните влакна е над 370 °C, додека на мета-арамидните, 255-260 °C. Немаат точка на топење бидејќи

Колкава е линеарната густина на типично арамидно влакно?

Одговор:

Врз база на погоре дадените податоци ќе ја пресметаме линеарната густина во dtex на типично арамидно влакно со дијаметар од 12 μm и густина од 1,46 g/cm³.

$d = 12 \mu m = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$

Волуменот, V , на 10000 m ($L = 10^6 \text{ cm}$) долгото влакно изнесува:

$$V = \frac{d^2 \pi}{4} L = \frac{(1,2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \pi}{4} \cdot 10^6 = 1,13 \text{ cm}^3$$

Масата на влакното е:

$$m = \rho \cdot V = 1,46 \cdot 1,13 = 1,7 \text{ g}$$

Со оглед на дефиницијата дека линеарната густина, изразена во dtex, претставува маса во грамови на 10000 m долго влакно, финоста на типично арамидно влакно е 1,7 dtex.



се разградуваат пред да се стопат. Со термогравиметриска анализа во воздух е покажано дека пара-арамидните (Kevlar) влакна почнуваат да губат тежина при 350 °C додека комплетно разградување настанува меѓу 427 °C и 482 °C.

Покрај тоа, арамидите покажуваат краткотрајно отпорност спрема дејство на пламен, но сепак можат да се запалат при подолго дејство на пламенот. Kevlar влакната не го поддржуваат горењето туку се јагленосуваат на околу 427 °C, додека Technora (пара-арамидно влакно од фирмата Teijin Aramids) на 650 °C.

Ароматските полиамиди се карактеризираат со одлична димензиона стабилност која се манифестира со многу мало собирање при загревање на високи температури и со многу мал коефициент на термичка експанзија.

30.2.2. Механички особини

Затегање

Арамидните влакна поседуваат извонредни механички особини. Иницијалниот модул на затегање, на различни арамидни влакна, е над 39 GPa, а јакоста на затегање над 1,3 GPa. Овие вредности значително се менуваат во функција од типот на полимерот, микроструктурата, условите на извлекување и термичкиот третман. Во табелата 30.1 се презентирани особините на затегање на неколку комерцијално достапни арамидни влакна. Како што може да се види од табелата, пара-арамидните влакна (врз база на PPTA хомополимер; како што се Kevlar и Twaron) имаат иницијални модули на затегање меѓу 70 и 142 GPa и јакост на затегање меѓу 2,3 и 3,2 GPa. Овие извонредни особини, главно, се

Табела 30.1. Особини на затегање на некои течно-крстални влакна

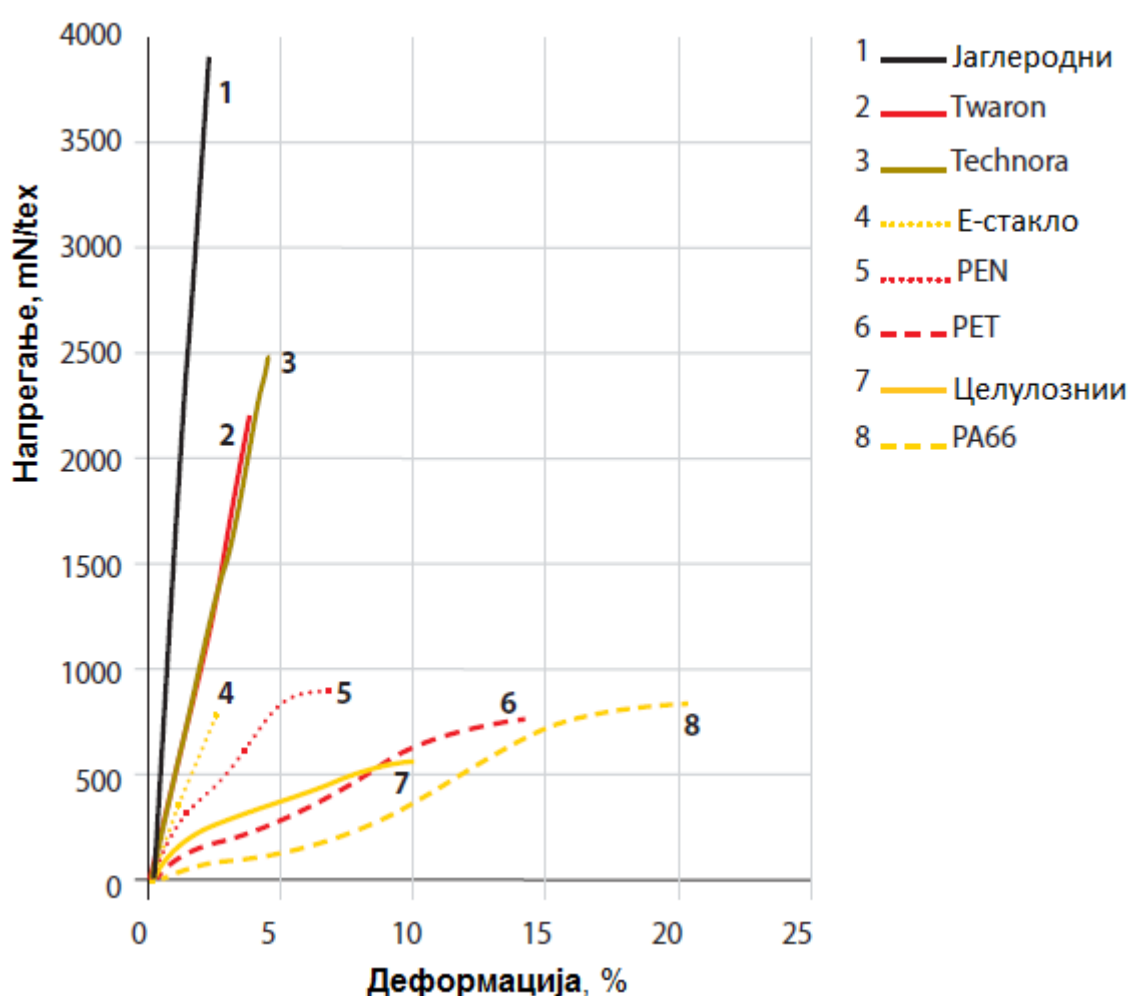
Трговска ознака	Фирма	Густина g/cm ³	Модул GPa	Јакост GPa	Издолжув. при прекин, %
Kevlar 29	DuPont	1,44	71	2,9	3,6
Kevlar 29	DuPont	1,44	112	3,0	2,4
Kevlar 29	DuPont	1,45	143	2,3	1,5
Nomex	DuPont	1,38	11.6	0,59	28,0
Twaron	Teijin Aramid	1,44	70	3,2	3,3
Twaron HM	Teijin Aramid	1,45	103	2,8	2,5
Technora	Teijin Aramid	1,39	73	3,4	4,6
Conex	Teijin Aramid	1,38	7.9-9.7	0,61-0,67	40,0
Conex HT	Teijin Aramid	1,38	11.6-12.2	0,73-0,85	25,0
Armos	Lirsot	1.43	150-160	4,5-5,5	2,5-3,5
SVM	Asripf	1.43	135-150	4,0-4,5	3,0-3,5
Terlon	Asripf	1.46	130-160	2,5-3,5	2,5-3,

должат на структурата што се формира во текот на извлекувањето. Всушност, веригите од крути стапчиња се скоро целосно ориентирани во насоката на извлекувањето.

За разлика од пара-арамидните влакна, мета-арамидните (на пример Nomex и Conex) имаат искривени вериги кои можат да се свиткуваат и ротираат дури и при мали напрегања. Како резултат на тоа, овие влакна се помалку крути и јаки од пара-арамидните. Нивниот иницијален модул е типично од ред на 10 GPa а јакоста на затегање од ред на 600 MPa. Од друга страна тие се полесни за производство и поевтини. Technora влакната кои се врз база на PPTA кополимер имаат различна хемиска структура (во 'рбетната верига имаат - O - врска) од

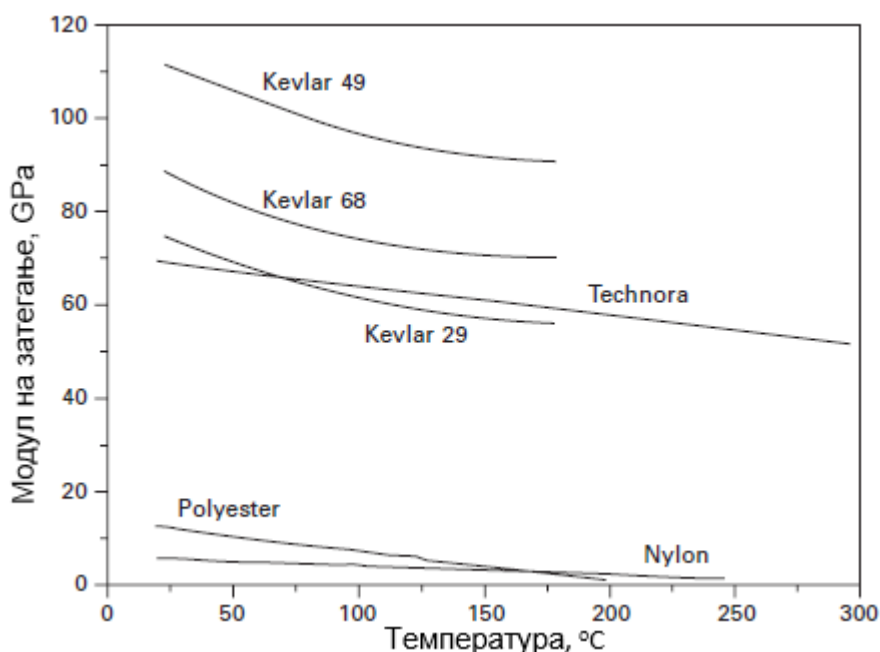
онаа на Kevlar и Twaron и имаат вредност на модулот на затегање меѓу оној на мета- и пара-арамидните влакна. Понатамошно зголемување на модулот на затегање е можно со внесување на циклични прстени кои ја зголемуваат крутоста на полимерните вериги. Такви влакна, што содржат хетероциклични прстени (бензимидазол) се Armos и SVM, презентирани во табелата 30.1. Armos влакната можат да постигнат модул од 157 GPa и јакост на затегање од 5,5 GPa додека SVM – 150 GPa и 4,5 GPa, соодветно.

На сликата 30.5 презентирани се компаративни кривите напрегање-деформација за пара-арамидни влакна (*Twaron*, *Technora*) и други технички и текстилни влакна. Карактеристично е што кривата напрегање-деформација кај арамидните влакна е скоро линеарна до точката на прекин.



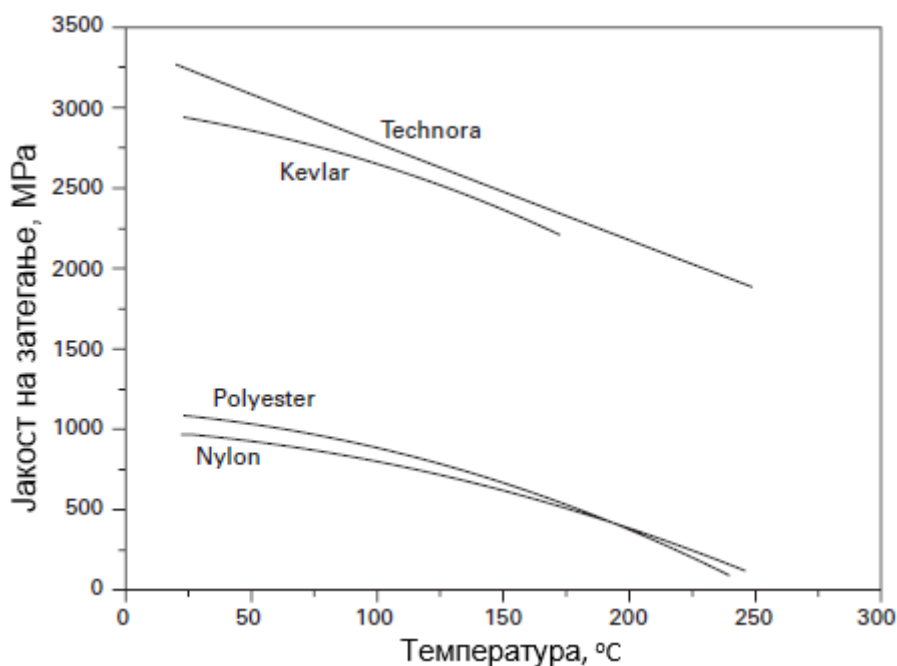
Слика 30.5. Криви напрегање-деформација за технички и текстилни влакна

Влијанието на температурата врз модулот и јакоста на затегање е презентирано на сликите 30.6 и 30.7, каде Kevlar и Technora се споредени со некои традиционални органски влакна врз база на најлон и полиестер. Кај сите влакна, испитуваните особини се намалуваат со пораст на температурата, но арамидните влакна се многу постабилни од полиестерските и најлонските во



Слика 30.6. Влијание на температурата врз модулот на затегање од пара-арамидни и текстилни влакна

целиот температурен опсег. Од собна температура до 180 °C пара-арамидните влакна губат 15-25 % од модулот и 30-35 % од јакоста. Иако апсолутните вредности за модулот и јакоста на челична жица се константни од собна температура до 300 °C, во овој ист температурен опсег пара-арамидните влакна имаат повисоки специфични вредности (особини).



Слика 30.7. Влијание на температурата врз јакоста на затегање врз пара-арамидни и текстилни влакна

§31. ВИСОКОПЕРФОРМАНСНИ ПОЛИЕТИЛЕНСКИ ВЛАКНА

31.1. ВОВЕД

Најјакото влакно на светот, како што го нарекуваат HPPE (*High Performance Polyethylene* – високоперформансен полиетилен) влакното, комерцијално го произведуваат фирмите DSM од Холандија под трговска ознака Dyneema® и Honeywell од САД под трговска ознака Spectra®. Постојат и други производители но нивниот удел на светскиот пазар е незначителен.

Во литературата за ова влакно можат да се сретнат многу називи, како на пример: високо-цврсти; лесни полиетиленски влакна; високоперформансни полиетиленски (HPPE) влакна; а понекогаш како полиетиленски влакна со растегната верига (ECPE - *Extended Chain Polyethylene*).

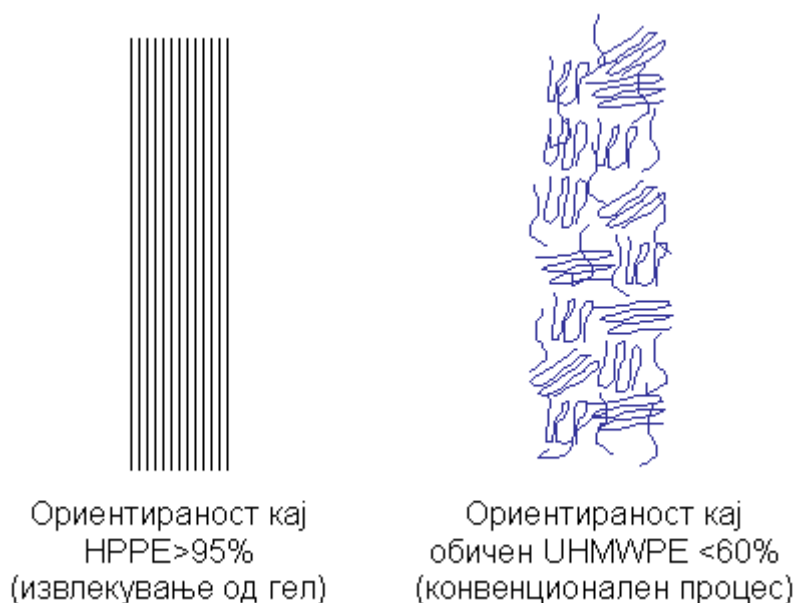
Основната теорија за тоа како треба да изгледа супер јакото полиетиленско влакно била позната уште во триесеттите години на минатиот век но било потребно скоро половина век за да се произведе HPPE влакно. Во 1979 година DSM го пронајде и го патентира ова влакно како и процесот за негово добивање - извлекување од гел (*gel spinning*).

Теоретската основа како да се произведе супер јако влакно од полимер како што е полиетиленот лесно може да се сфати. Како почетен материјал се користи полиетилен (PE) со ултра висока молекулска тежина (UHMW-PE - *Ultra High Molecular Weight Polyethylene*). Кај обичниот PE молекулите не се ориентирани и лесно можат да се раскинат. Кај процесот на извлекување од гел молекулите се раствораат во растворувач и се извлекуваат низ спинерет.

Во растворот, молекулите кои формираат китки (кластери) кога се во цврста состојба, се расплеткуваат и остануваат во таа состојба се додека растворот не се излади и не се формираат влакна. При извлекувањето на влакната се постигнува многу висок степен на макромолекулска ориентираност, слика 31.1, што резултира во влакно со многу голема жилавост и модул.

Заради малата густина и добрите механички особини, перформансите по единица маса им се екстремно големи. Хемиската природа на полиетиленот се задржува и во влакната но тоа може да претставува и предност и ограничување: абразивните и особините на замор се многу високи но точката на топење им е релативно ниска со што се лимитирани за одредени апликации.

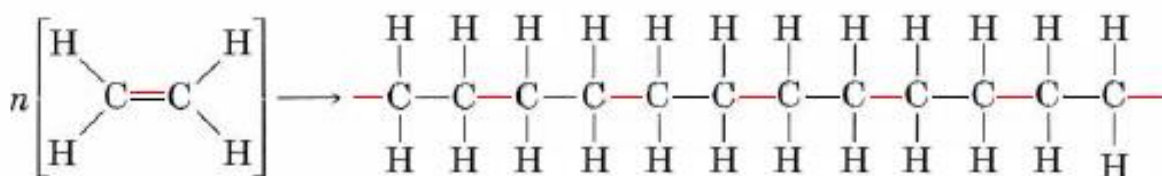
Во последно време, разновидни HPPE влакна нашироко се користат за балистичка заштита, во морепловството, за риболов, спорт, во шумарството, за дигање на товар, за заштита од просекување, воздухопловство, медицина и ви мноштво апликации поврзани со композити.



Слика 31.1. Ориентираност кај PE влакна

Извлекувањето од гел, како што е познато, се користи за да се добијат многу јаки како и други типови на влакна со посебни карактеристики. При овој процес полимерот е делумно течен или во “гел” состојба, што ги прави полимерните вериги на некој начин сврзани меѓу себе на различни места во самиот течен кристал. Оваа врска понатаму резултира во јаки меѓу-верижни врски во влакната со што се зголемува нивната јакост на затегање. Полимерните вериги во самите влакна имаат голем степен на ориентираност со што се зголемува нивната јакост. Филаментите се извлекуваат со необично голем степен на релативна ориентираност еден наспротив друг со што понатаму се зголемува јакоста. Понатамошно зголемување на јакоста и ориентацијата се постигнува со дополнително влечење на влакната. Тоа може да се направи додека полимерот е се уште во процесот на солидификација или откако потполно ќе се излади. Влечењето ги зближува полимерните молекули поблиску едни до други и ги ориентира долж оската на влакното со што се постигнува уште појако предиво.

PE се добива со адициона полимеризација (што значи нема нуспроизвод) на мономерот етен (етилен), слика 31.2.



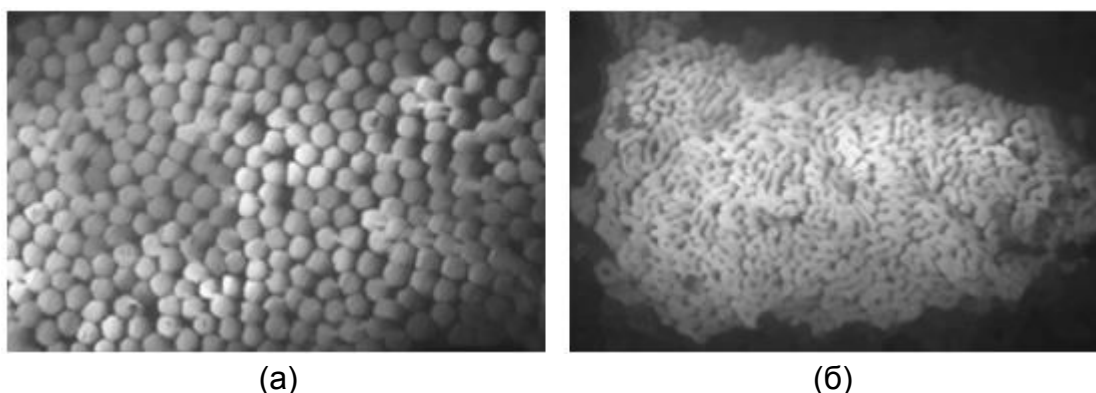
Слика 31.2. Полимеризација на етенот (етиленот) во полиетилен

31.2. ОПШТИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА HPPE ВЛАКНА

Форма на влакното

HPPE влакна се произведуваат како мултифиламентно предиво. Линиската густина на поединечните филаменти варира од 0,44 dtex до скоро 12 dtex. Жилавоста на единичен филамент може да биде преку 5 N/tex, а модулот може да биде преку 120 N/tex.

Повеќето типови на влакна имаат помалку или повеќе кружен попречен пресек на индивидуалните филаменти, слика 31.3а, но исто така во вид на зрно од грав, слика 31.3б, што е последица на брзото испарување на растворувачот при извлекувањето. Површината на влакното е мазна.



Слика 31.3. Попречен пресек на (а) 1760 dtex Dyneema SK75 и (б) 440 dtex Dyneema SK65

Структура и морфологија

Влакното е високо кристалинично; кристаличноста е обично поголема од 80 %. Кристалните домени, главно орторомбични со мал дел на моноклинични, се високо растегнати во насока на оската од влакното. Кристалните домени се организирани во нанофибрили и микрофибрили, кои од своја страна градат макрофибрили. Поголемиот дел од некристалиничната фракција е во вид на меѓуфаза што се карактеризира со голема густина, голема ориентација но ограничена мобилност на молекулските вериги.

Комерцијално достапни влакна

HPPE влакна произведуваат фирмите DSM Dyneema (Холандија), Honeywell (САД) и Toyobo Co. (Јапонија). Во табелата 31.1 се презентирани физичките карактеристики на нивните HPPE влакна според нивните спецификации т.е. технички брошури. Овие податоци се добиени при различни услови на тестирање па директната споредба не мора да биде сосема точна.

Табела 31.1. Комерцијално достапни HPPE влакна (продолжува)

	Филаменти		Линеарна густина на влакната	
	Дијаметар μm	Линеарна густина, den	den	dtex
DSM Dyneema				
Dyneema®SK25	12	1,7	675	750
Dyneema®SK60	12	1,0	400-600	440-660
Dyneema®SK62	17-21	2,0-3,0	400-2400	440-2640
Dyneema®SK65	12	1,0	100-1200	110-1320
Dyneema®SK75	17-21	2,0-3,0	100-2400	110-2640
Dyneema®SK78	17-21	2,0-3,0	1600-2400	1760-2640
Dyneema Purity®SGX	17	2,0	50-400	55-440
Dyneema Purity®TG	12	0,9	23	25
Dyneema Purity®UG	11	0,5	100-400	110-440
Dyneema®NM22	-	-	400	440
Dyneema®NM44	-	-	200	220
Toyobo Co.				
Dyneema®SK60	12	1,0	50-1600	55-1760
Dyneema®SK71	12	1,0	50-400	55-440
Honeywell				
Spectra® 900	38-40	10-10,8	650-4800	722-5333
Spectra® 1000	23-28	3,6-5,4	215-2600	239-2888
Spectra® 2000	19-23	2,5-3,6	100-180	111-200

Типовите Dyneema®NM се 100 % прекинати влакна при затегање и како штапелни влакна се впредени во предиво. Главно се користат за плетенини или ткаенини за заштита од посекотини. Dyneema Purity® типовите се специјално развиени за медицински апликации.

31.3. МЕХАНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА HPPE ВЛАКНА

Затегање

Примарни карактеристики на HPPE влакната се висока јакост и висок модул во комбинација со мала густина. Густината од $0,97 - 0,98 \text{ g/cm}^3$ е типична за високо-кристалиничен линеарен полиетилен, што ги прави влакната пловни во вода.

И додека јакоста и модулот се и онака многу високи во инженерски единици (GPa), комбинацијата со малата густина ги прави специфичната јакост или жилавоста и специфичниот модул екстремно големи. Жилавоста е 10 до 15

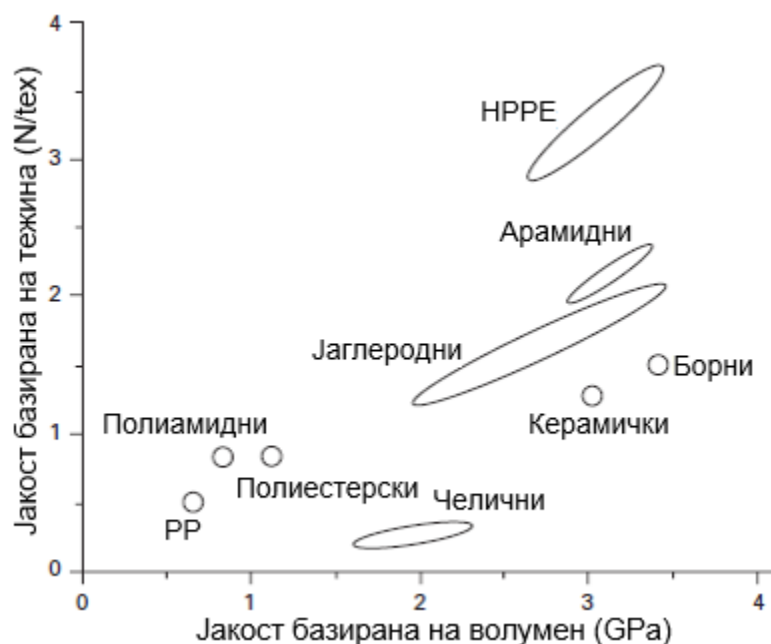
Табела 31.1. Комерцијално достапни HPPE влакна (продолжение)

	Јакост на затегање		Модул на затегање		Издолж. при прекин
	N/tex	GPa	N/tex	GPa	%
DSM Dyneema					
Dyneema®SK25	2,2	2,2	54	52	3,5
Dyneema®SK60	2,5-3,1	2,4-3,0	67-95	65-93	3,5
Dyneema®SK62	2,9-3,1	2,8-3,0	86-103	83-100	3,5
Dyneema®SK65	3,0-3,4	3,0-3,3	96-102	93-100	3,5
Dyneema®SK75	3,4-4,0	3,3-3,9	112-137	109-132	3,5
Dyneema®SK78	3,4-3,5	3,3-3,4	112-116	109-113	3,5
Dyneema Purity®SGX	3,2-3,3	3,1-3,2	100-110	97-107	3,5
Dyneema Purity®TG	3,8	3,7	125	120	3,4
Dyneema Purity®UG	3,9-4,1	3,8-4,0	130	126	3,3
Dyneema®NM22	1,5	1,5	-	-	-
Dyneema®NM44	1,5	1,5	-	-	-
Toyobo Co.					
Dyneema®SK60	2,6	2,6	79	79	3-5
Dyneema®SK71	3,5	3,5	110	110	3-5
Honeywell					
Spectra® 900	2,3-2,7	2,2-2,6	75-81	73-79	3,6-3,9
Spectra® 1000	3,0-3,4	2,9-3,3	100-117	97-113	2,9-3,5
Spectra® 2000	3,4	3,3	117-128	113-124	2,5-3,6

пати поголема од таа на квалитетен челик а по модулот се на второ место, по специјалните јаглородни влакна. Издолжувањето при прекин е релативно мало, на ниво на останатите високоперформансни влакна, но со оглед на високата жилавост, енергијата за прекин е многу голема.

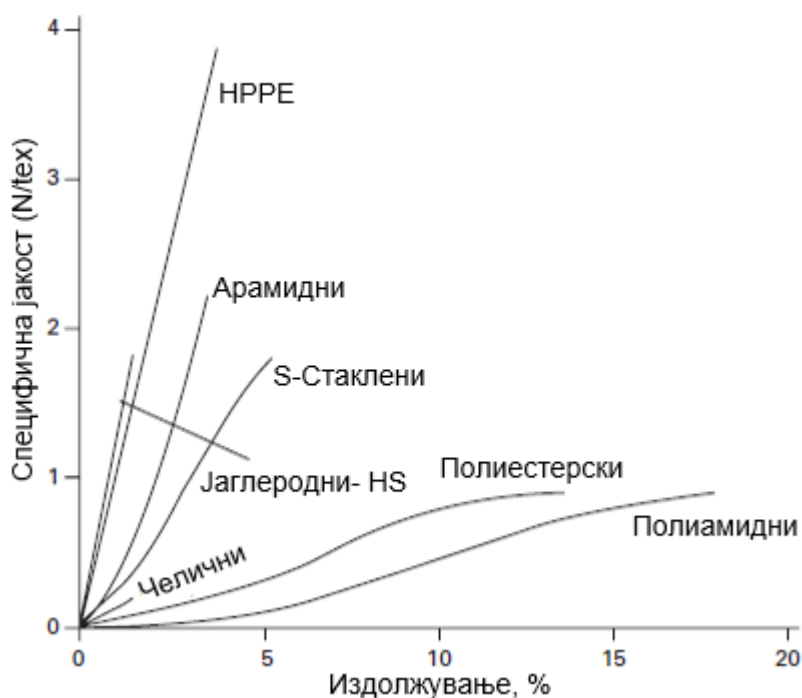
На сликата 31.4 претставена е јакоста на влакната во текстилни (N/tex) и инженериски единици (GPa). Текстилните единици ја поврзуваат јакоста со тежината на влакното додека инженериските – јакоста со попречниот пресек и волуменот на влакното. Јасно е, од сликата, дека комбинацијата на мала густина и голема јакост ги прави HPPE влакната уникатни продукти. Сликата, исто така, покажува дека HPPE влакната не само што „штедат“ на тежина туку исто така и на волумен.

На сликата 31.5 прикажани се издолжувањата и специфичната јакост на различни влакна. Заради нивниот голем модул во комбинација со издолжувањето при прекин, HPPE влакната можат да апсорбираат големо количество на енергија. Работата за прекин, од аспект на тежината, ја надминува



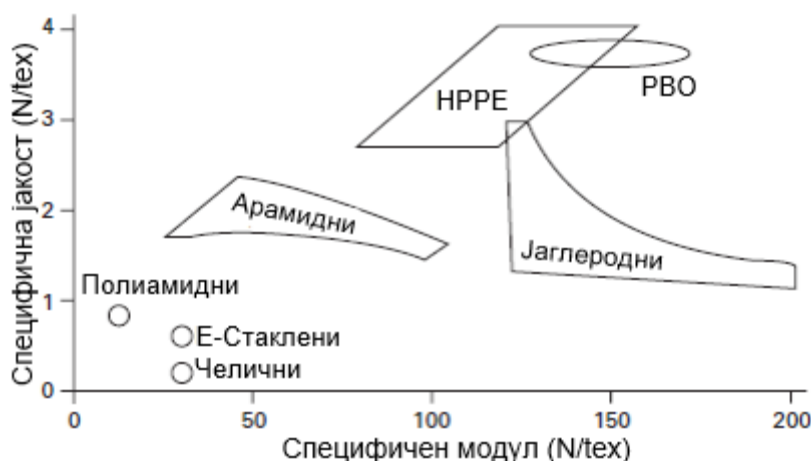
Слика 31.4. Јакост базирана на тежина наспроти јакост базирана на волумен за различни влакна

таа на јаглеродните и арамидните влакна за фактор 8 и 2, соодветно. Тоа значи дека при еднаква маса на трите типови влакна, за да се прекине HPPE влакно потребно е да се изврши 8 пати повеќе работа отколку за јаглеродното, односно, два пати повеќе – отколку за арамидното.



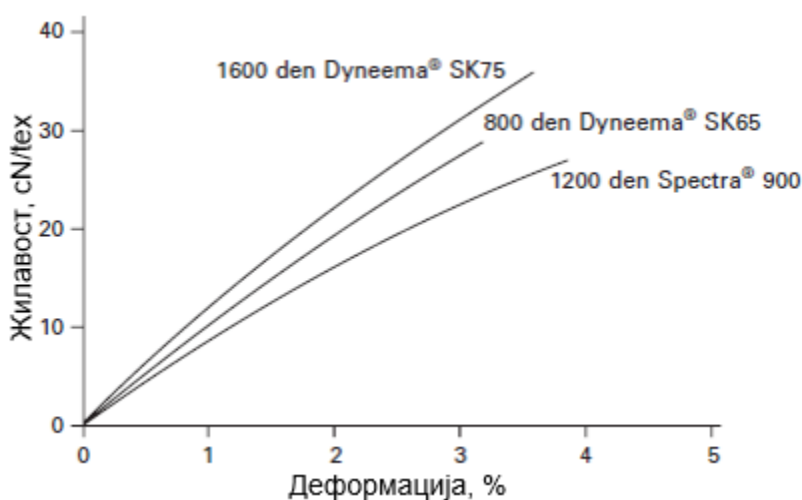
Слика 31.5. Криви напрегање-издолжување за некои влакна

На сликата 31.6 прикажан е специфичниот модул наспроти специфичната јакост и покажува зошто навистина HPPE влакната даваат високи перформанси. Високиот специфичен модул е релевантен за балистичка заштита. Брзината со која што звукот поминува низ влакното ја детерминира брзината со која што ударната енергија од куршумот се шири низ влакното (колку е таа брзина поголема толку е подобра заштитата) и се пресметува како квадратен корен од специфичниот модул.



Слика 31.6. Специфична јакост наспроти специфичен модул за различни влакна

На сликата 31.7 Прикажани се типичните криви напрегање-деформација за некои комерцијални типови на HPPE влакна. Треба да напоиме дека се тоа претставници од првата генерација на влакна. Моментално, двете фирми, DSM Dyneema и Honeywell имаат лансирано веќе трета генерација на посупериорни влакна.



Слика 31.7. Типични криви напрегање-деформација за некои типови на HPPE влакна

Компресија

UHMW-PE има структура со слаби странични (van der Waals-ови) врски меѓу соседните вериги. Тоа резултира, спротивно на јакоста на затегање, во многу мала (приближно 2 – 3 % од јакоста на затегање) јакост на компресија. Заради тоа имаат ограничена примена кај структурните композити.

Механички особини во трансверзална насока

Бидејќи сите вериги во влакното се насочени долж оската на влакното, механичките особини се силно анизотропни. Во трансверзална насока модулот и јакоста се значително помали отколку во насока на оската од влакното.

Отпорност на абразија

UHMW-PE кој се корист за добивање на HPPE влакна е добро познат технички пластичен материјал. Како таков, посебно се користи заради својата супериорна отпорност на абење и абразија, па не е чудно што и HPPE влакната имаат добра абразивна отпорност.

Заради оваа своја особина и малата густина (пловат во вода) HPPE нашле широка примена како јажиња во морепловството за врзување на чамци/бродови, засидрување, влечење, врзување на морски платформи, подигање на товар, слика 31.8.

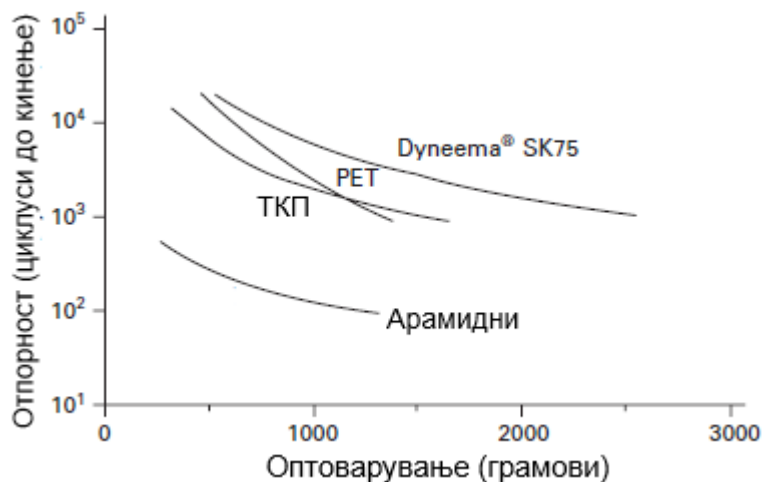
Кај јажињата се јавуваат два вида на абразија: внатрешна и надворешна. При долготрајна циклична употреба, меѓусебното триење на нишките од јажето може



Слика 31.8. HPPE влакната поседуваат извонредна абразивна отпорност

да предизвика фибрилација на влакното или развој на попречни пукнатини, што резултира со губење на јакоста. Затоа коефициентот на триење е важен. Во споредба со други синтетички влакна, HPPE влакната имаат многу мал коефициент на фрикција. Тоа резултира во добра влакно-со-влакно фрикциона

отпорност без користење на лубриканти или морски финиши, како што е случај со полиестерските влакна. Тестот на абразија на влажни влакна покажал дека *Dyneema* влакната имаат најдобра отпорност од сите високо-модулни влакна, слика 31.9.



Слика 31.9. Резултати од предиво-со-предиво влажен тест на *HPPE* влакна во споредба со полиестерски, ТКП и арамидни

Влијание на водата

PE не е воопшто хидроскопен и не апсорбира вода. Влакната имаат многу мала порозност и затоа апсорпцијата на вода е занемарлива. PE влакна не набабруваат, хидролизираат или не било кој начин не се деградираат во вода, морска вода или во атмосфера на влага. Особините како што се замор при затегање или свиткување и предиво-со-предиво абразија можат да бидат подобрени во контакт со водата.

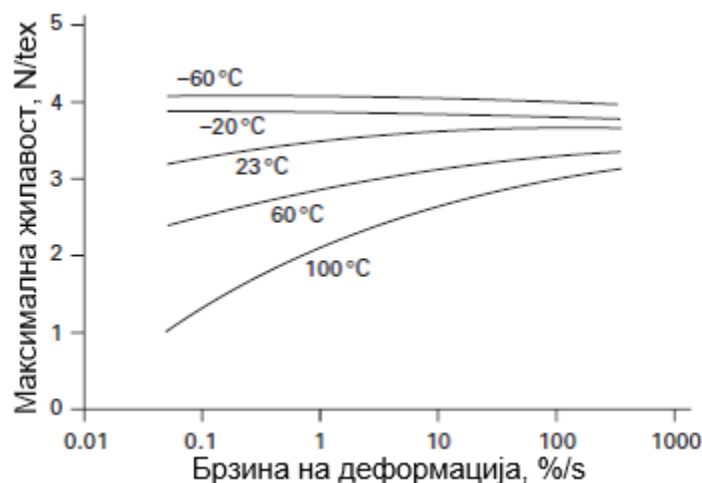
Хемиска отпорност

HPPE влакна се произведуваат од полиетилен и не содржат ароматски прстени или било какви амидни, хидроксилни или други хемиски групи кои се осетливи на дејство од агресивни агенси. Како резултат на тоа полиетиленот, посебно, високо-кристалиничниот е многу отпорен на дејство од хемикалии, киселини и бази.

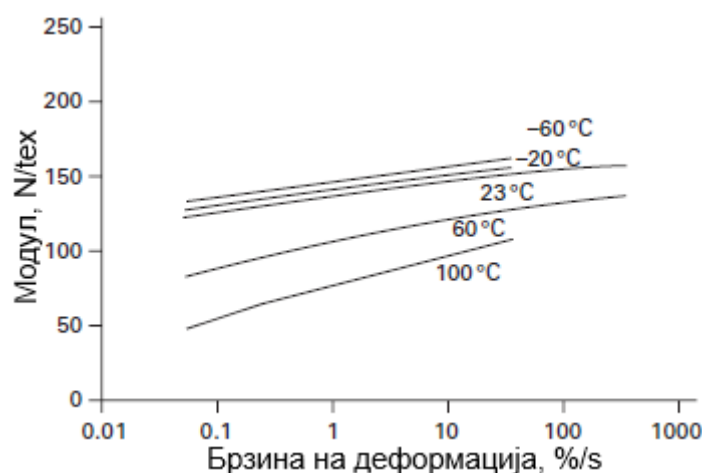
Истото се однесува и за биолошката отпорност, влакното не е осетливо на дејство од микроорганизми.

Вискоеластичност

Полиетиленот е вискоеластичен материјал, што значи, неговите особини значително зависат од температурата, времето и предисторијата на оптоварување. Една особина на HPPE влакната е дека механичките особини



(а)

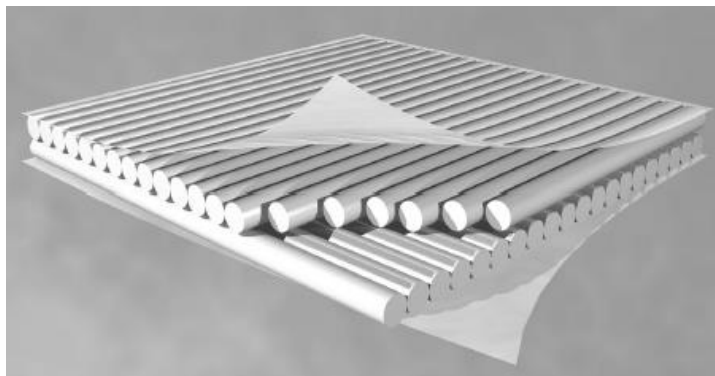


(б)

Слика 31.10. *Дупеета SK76 во зависност од брзината на деформација, (а) жилавост, (б) модул*

јакоста на затегање (жилавоста), модулот на затегање и издолжувањето при прекин зависат од температурата и брзината на деформација. При големи брзини на деформација, или при ниски температури, и јакоста и модулот се значително повисоки од вредностите дадени во табелата 31.1. На сликата 31.10 презентирани се резултати за брзини на деформација од 0,05 до 350 %/s. Повисоките брзини се позначајни за HPPE предивата кои се користат за балистичка заштита.

Друга карактеристика на HPPE влакната е што се осетливи на долготрајно статичко оптоварување и пропорционално се издолжуваат со тек на времето што резултира со нивна поголема деформација при прекин. Овој феномен е генерално познат како ползење и се јавува заради тоа што долгите верижни молекули се лизгаат една покрај друга. Ползењето на влакната зависи од оптоварувањето и температурата.



Слика 31.11. Унидирекционален ламинат од HPPE влакна

Големите оптоварувања и високите температури го забрзуваат иреверзибилното ползење. По одредено време, брзината (стапката) на ползење се стабилизира и крајно доаѓа до кинење на влакното.

Процесирање

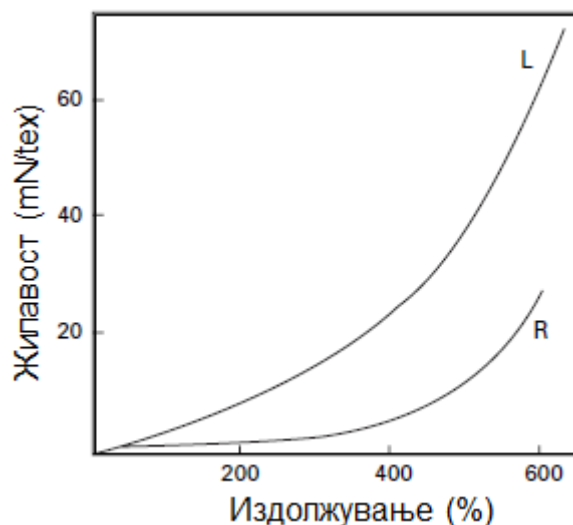
HPPE влакна се процесираат како и повеќето текстилни влакна во плетенини и ткаени или неткаени ткаенини. Ако се процесираат во симетрични структури многу е важна контролата на напрегањето и должината на влакната. Во конструкцијата влакната треба да бидат со еднаква должина со цел рамномерно да го поднесуваат оптоварувањето. Исто така и напрегањето потребно е да биде што е можно поконстантно.

Друга, уникатна текстилна форма во која се процесираат и користат се ламинатите. Тие се конструираат од слоеви на унидирекционално подредени влакна поставени во насока $0/90^\circ$ слоевите споени со термопластична матрица, слика 31.11. Овие текстилни форми немаат превојни или контактни точки на предивото по основа и јаток, како што е случај кај ткаените ткаенини, што претставува голема предност за некои апликации, на пример, за балистички композити.

§32. ЕЛАСТОМЕРНИ ВЛАКНА

На другата страна од перформансните лимити од високо-цврстите и високо-модулните влакна се наоѓаат еластомерните влакна кои покажуваат добар еластичен повраток при високи издолжувања. Спандекс (*Spandex* - во САД) или еластан (*Elastane* - во Европа) е синтетичко влакно познато по својата извонредна еластичност. Го откриле хемичарите C.L. Sandquist и Joseph Shivers од фирмата DuPont во 1959 год. Ова влакно е попознато и под трговската ознака „ликра“ (*Lycra*). Друг вид на еластомерно влакно е она од природна гума.

На сликата 32.1. прикажана е споредба меѓу спандекс и природното гумено влакно: нивната растегливост е слична но спандекс влакното е двојно појако.



Слика 32.1. Криви напрегање – деформација за ликра еластан (L) и природна гума (R)

Во однос на почетната линеарната густина изгледа како јакоста да е мала но вистинското напрегање при прекин е 0,5 N/tex, што е слично на најлонските и полиестерските влакна.

33. ЈАГЛЕРОДНИ ВЛАКНА

33.1. ВОВЕД

Јаглородните влакна се изградени само од еден елемент – јаглерод и затоа се меѓу најлесните неоргански материјали на Земјата. Јаката ковалентна врска меѓу sp^2 хибридизираниите јаглородни атоми доведува до екстремно висока крутост која не е надмината од ниту еден друг материјал. Современите високоперформансни јаглородни влакна врз база на мезофазен катран, MPP, (*mesophase pitch*) како прекурсор, на пример, можат да имаат модул на затегање скоро од 1 TPa (тера паскал = 1000 GPa). Јаглородните влакна врз база на полиакрилонитрилен (PAN) прекурсор покажуваат извонредна јакост од 6,4 GPa. Оттука произлегува дека специфичната јакост на јаглородните влакна ја надминува таа на челикот за повеќе од еден ред на величина. Заради тоа поголемиот дел од јаглородните влакна се користат за изработка на лесни структурни делови од спортски реквизити до делови за авионската индустрија т.е. цели трупови на авиони. Јаглородните влакна врз база на PAN кои се одликуваат со ултра висока јакост сочинуваат скоро 90 % од вкупното светско производство; влакната врз база на MPP се користат за апликации каде се бара висок модул. Јаглородните влакна од целулозен (рајон) прекурсор скоро да ги снеса од пазарот.

Јаглородните се континуирани влакна со дијаметар 5 – 10 μm и се состојат , главно, од јаглородни атоми. Јаглородните атоми се сврзани меѓу себе во микроскопски кристали кои помалку или повеќе се насочени паралелно на надолжната оска на влакната. Кристалната подреденост го прави влакната извонредно јаки во однос на нивната големина. Неколку илјади јаглородни влакна се здружуваат (без завои) и прават ровинг кој може индивидуално да се користи или за изработка на ткаенини.

33.2. ПРЕКУРСОРИ

Како што веќе спомнавме постојат три типови на прекурсори (стартни суровини) кои комерцијално се користат за производство на јаглородни влакна: рајон, полиакрилонитрил (PAN) и мезофазен катран. Сите прекурсори се органски полимери кои се карактеризираат со долги вериги на молекули меѓусебно сврзани со јаглородни атоми. Точниот состав на прекурсорот варира од производител до производител и се смета за деловна тајна.

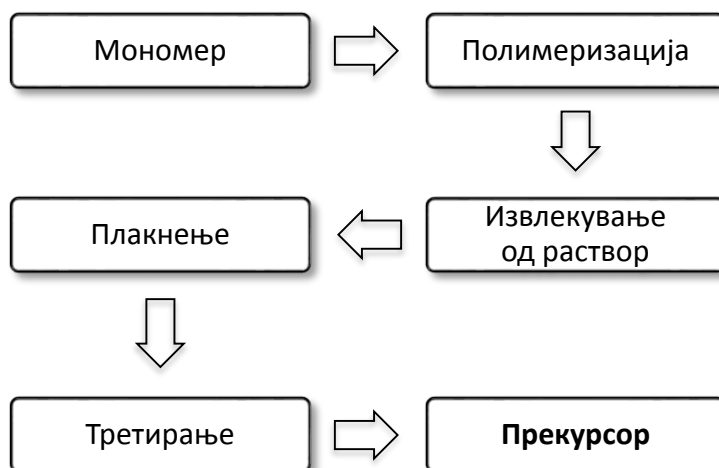
Рајонот, кој бил прв прекурсор за производство на високоперформансни јаглородни влакна, бил доминантен прекурсор во 1960-тите и раните 1970-ти години. Меѓутоа, заради малиот принос на јаглород (20 – 30 %), високите трошоци за производство и ограничените физички особини, во денешно време рајон прекурсорот се користи помалку од 1 % во производството на комерцијалните јаглородни влакна. Употребата на јаглородни влакна врз база на рајон е главно лимитирана на јаглород - јаглород аблативни штитови. Останатиот процент на прекурсори (99 %) отпаѓа на PAN влакната и мезофазниот катран, со тоа што поголемиот дел, скоро 90 % отпаѓа на PAN влакната кои даваат јаглородни влакна со 55 % јаглород и многу подобри особини. Јаглородните влакна врз база на катран (кој се добива при преработката на нафтата) содржат околу 85% јаглород и имаат одлична јакост на свиткување. За жал, имаат многу ниска компресивна јакост заради што не се толку широко прифатени.

33.3. ЈАГЛЕРОДНИ ВЛАКНА ВРЗ БАЗА НА PAN

Производниот процес за изработка на јаглородни влакна од PAN прекурсор се состои од три главни чекори:

- процес на полимеризација - за производство на PAN полимер од акрилонитрилен мономер;
- процес на извлекување – за производство на PAN влакна;
- процес на карбонизација – за карбонизирање на PAN влакната;

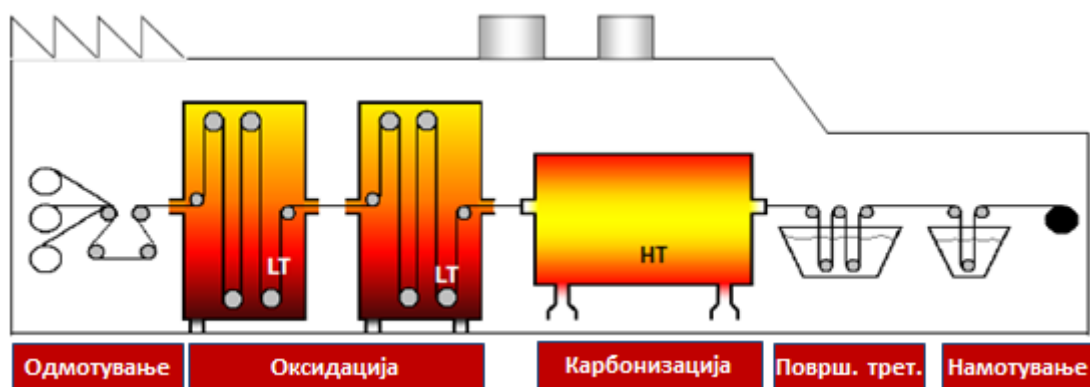
Во процесот на полимеризација мономерот се раствора во растворувач и во присуство на катализатор се полимеризира во постројката за извлекување на влакна од раствор. По извлекувањето влакната се плакнат и површински се



Слика 33.1. Дијаграм на добивање на PAN влакна

третираат. Готовите PAN влакна се намотуваат на бобини во одредена должина. Шематски процесот е прикажан на сликата 33.1.

Почетните PAN влакна кои се користат за добивање на јаглеродни влакна значително се разликуваат од акрилните влакна наменети за облека и техничка апликација. PAN влакната за добивање на јаглеродни влакна имаат помалку филаменти во ровингот, повисок степен на чистота, помал дијаметар на филаментот и повисока содржина на акрилонитрил (> 90 %) отколку влакната за текстилна апликација.



Слика 33.2. Симплифициран шематски приказ на добивање јаглеродни влакна од PAN прекурсор

Исто така, кај нив, се модифицира композицијата на полимерот и молекулската тежина како би се постигнале саканите особини на јаглеродните влакна. Заради овие разлики цената на влакната врз база на PAN прекурсор е три до пет пати повисока од онаа на акрилните влакна за текстилната индустрија. При производството, бобините со PAN влакна се поставуваат на гатер, се одмотуваат и се спроведуваат низ постројката за добивање на јаглеродни влакна, слика 33.2. Подетално, фазите на производство се прикажани на блок дијаграмот, слика 33.3.

33.3.1. Оксидацијата

Пред да се карбонизираат влакната треба хемиски да се променат за да се конвертира нивната линеарна атомска поврзаност во термички постабилната скалеста поврзаност. Тоа се постигнува со загревање на влакната при температура 250 °C до 350 °C , во воздушна атмосфера, во траење од 30 – 120 минути. Тоа прави влакната да земаат кислородни молекули од воздухот и да извршат промена на атомската поврзаност. Хемиските реакции при оксидацијата се комплексни и вклучуваат неколку фази од кои некои симултано се случуваат. Тие исто така генерираат сопствена топлина која мора да се контролира за да се спречи прегревање на влакната.

Комерцијално, процесот на оксидација се изведува на многу различна опрема и на многу различни начини.



Слика 33.3. Блок дијаграм на добивање на јаглеродни влакна од PAN прекурсор

33.3.2. Карбонизација

По оксидацијата влакната се загреваат на температура повисока од 1200 °C во траење од неколку минути во печка наполнета со гасна смеса (азот) која не содржи кислород. Недостатокот на кислород спречува влакното да изгори на

многу високите температури. Притисокот на гасот во печката се држи да е повисок од надворешниот атмосферски притисок, а местата каде влакната влегуваат и излегуваат од печката се запечатени за да се спречи навлегување на кислород. Како загревањето напредува влакната почнуваат да ги губат своите не-јаглеродни атоми плус и малку јаглеродни во форма на различни гасови вклучувајќи водена пареа, амонијак, јаглерод моноксид, јаглерод диоксид, водород, азот и други. Како се отстрануваат не-јаглеродните атоми, јаглеродните атоми што остануваат формираат цврсто сврзани јаглеродни кристали кои се подредени, повеќе или помалку, паралелно долж лонгитудиналната оска на влакната. Кај некои процеси се користат две печки кои работат на различна температура со цел подобро да се контролира брзината на загревање.



Што е графитизација?

Ориентацијата на кристална структура (налик на онаа на графит) на јаглеродните влакната, а со тоа и модулот, понатаму може да се зголеми со термички третман, во инертна атмосфера (азот) при температура повисока од 2200 °C (вообичаена е и температура од 3000 °C). Оваа фаза е позната како графитизација, а влакната што се добиваат – како графитни влакна. Графитните влакна се добиваат од мезофазен катран како прекурсор.

33.3.3. Површински третман

По карбонизацијата/графитизацијата влакната имаат површина која не е погодна за поврзување со епоксидните и други смоли при производството на композитни материјали. За да и се овозможат подобри особини на адхезија површината на влакната незнатно се оксидира. Додавањето на кислородни атоми врз површината овозможува подобро хемиско поврзување и ја етка (нагризува) и рапави површината за подобро механичко поврзување. Оксидацијата може да се оствари со третман на влакната во атмосфера на различни гасови како: воздух, јаглерод диоксид, или озон; или во различни течности како што се натриумхипохлорит или азотна киселина. Влакната исто така можат да бидат електролитички третирани. Во електролитичката постапка влакната имаат улога на позитивна електрода во када наполнета со различни електрично спроводливи материјали. Процесот на површинско третирање мора внимателно да се контролира за да не се создадат минијатурни површински дефекти, како што се вдлабнатини, кои можат да предизвикаат значителна деградација на квалитетот.

33.3.4. Финиширање

По површинскиот третман влакната се обложуваат со хемиски агенс кој ги штити од оштетување при намотувањето и ткаењето. Хемискиот агенс, во овој контекст го викаме „финиш“ (*size*) а процесот - „финиширање“ (*sizing*) и не треба да се меша основното значење на овие зборови; (кај стаклените влакна под *sizing* се подразбира, на пример, „скробирање“, а финишот се нанесува по отстранувањето на скробот). Финишот, се избира, да биде компатибилен со смолата со која влакната ќе градат композитен материјал. Како финиши се користат епоксидни, полиестерски, полиамидни, уретански и други смоли. Финишираните влакна се намотуваат на бобини и се користат како финален производ, или одат на понатамошно процесирање, на пример, во ткаенини, слика 33.4.



Слика 33.4. Јаглеродна ткаенина и ровинг

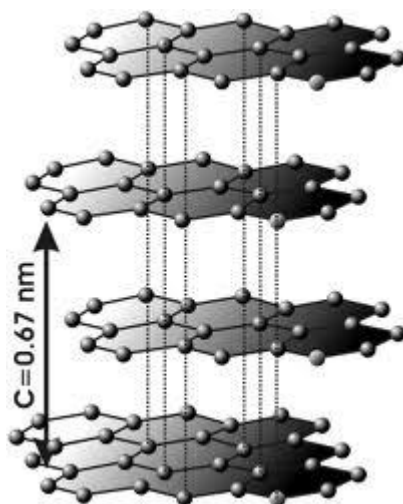
Кога се користат како ровинг јаглеродните влакна се спојуваат во снопчиња од 1000, 3000, 6000....филаменти кои, соодветно, се означуваат како 1К, 3К, 6К, 12К, 24К, 50К. Во овие ознаки „К“ значи 1000 филаменти.

Во зависност од крајната намена, понекогаш финишот се отстранува од влакната пред тие да се испорачаат кај купувачот.

Јакоста на јаглеродните влакна главно зависи од нивото на дефекти додека модулот зависи од степенот на кристаличноста и ориентацијата. Така, со варирање на тие процесни параметри кои имаат влијание врз ориентацијата и кристаличноста, при производството и на прекурсорот и на јаглеродните влакна, финалните јаглеродни/графитни влакна можат да имаат широк опсег на особини. Процесни параметри кои имаат влијание на кристаличноста и ориентацијата се, на пример: чистотата на прекурсорот, однос на влечење при формирањето на прекурсорот, вкупната затегнатост на влакната во текот на целиот процес на добивање (при оксидацијата и карбонизацијата), температурата во печката за карбонизација, итн.

33.4. СТРУКТУРА НА ЈАГЛЕРОДНИТЕ ВЛАКНА

Високо-цврстите јаглеродни влакна имаат структура слична на графитната кристална решетка, слика 33.5. Таа се состои од дводимензионални слоеви (планарни полимерни молекули) од јаглеродни атоми, кои заедно се држат со



Слика 33.5. Кристална решетка на графит

јаки ковалентни врски и се подредени во паралелни слоеви оддалечени еден од друг 0,355 nm, додека слоевите меѓу себе се поврзани со слаби (van der Waals-ови) врски. Во влакното, овие слоеви се подредени паралелно долж неговата оската.

33.5. ОСОБИНИ НА ЈАГЛЕРОДНИТЕ ВЛАКНА

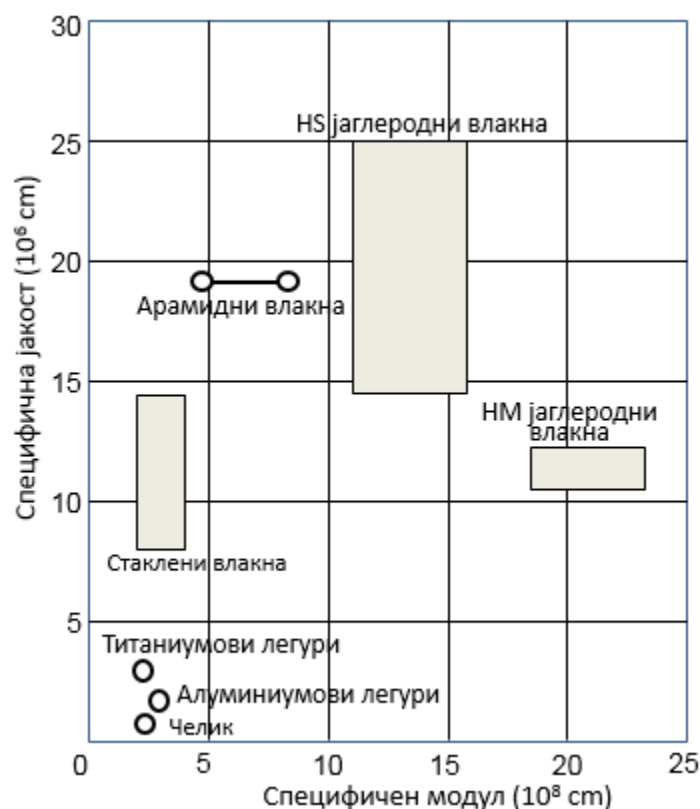
33.5.1. Специфични особини

Специфичната тежина на перфектните графитни кристали е 2,26. Бидејќи PAN јаглеродните влакна се изградени од фини графитни кристали, со големина од 10 nm (или помала) и со оглед дека структурата на влакната не е перфектна, се јавува извесна порозност; затоа специфичната тежина на стандардните влакна е 1,8, а кај високо-модулните влакна околу 2,0. Покрај малата специфична тежина, другите големи предности на јаглеродните влакна од PAN се, високата јакост и модул како и финоста (со дијаметри од 5 до 7 μm). Благодарение на овие карактеристики нивната специфична јакост и специфичен модул со многу поголеми отколку кај конвенционалните метали и други зајакнувачи, како што се стаклените и арамидните влакна и како што е прикажано на сликата 33.6.

Специфичната јакост и специфичниот модул се пресметуваат со делење јакоста или модулот со специфичната тежина или густината и можат да се изразат или

во GPa или во cm. Ако е јакоста изразена во kg/m^2 , а густината во kg/m^3 специфичната јакост ќе биде изразена во должински единици, на пример во m или cm, како што е случај на сликата 33.6.

Високите специфична јакост и модул на затегање се главните карактеристики зошто јаглородните влакна ги заменуваат конвенционалните материјали, на пример, за намалување на тежината на спортските реквизити (скии, велосипедски рамови, стапови за риболов), авионските компоненти и индустриските продукти како што се автомобилски шасии/каросерии, полуги за автомати и роботи, итн.



Слика 33.6. Специфична јакост и специфичен модул на јаглородните влакна

33.5.2. Класификација

Генерално, јаглородните влакна се класифицираат според модулот на затегање. Модулот е мерка кој ни кажува колкава сила на затегање влакното со одредена површина (дијаметар) може да поднеси без да се скини. Како што знаеме, модулот се претставува со силата (изразена во њутни) што дејствува на површината на попречниот пресек на влакното изразена во квадратни метри, односно со паскали (Pa). Според вредноста на модулот, јаглородните влакна се класифицираат како: стандардни, средно-модулни, високо-модулни и ултрависоко-модулни, табела 33.1.

Табела 33.1. Класификација на јаглородните влакна

Назив	Модул, GPa
Стандардни	0-265
Средно-модулни	265-320
Високо-модулни	320-440
Ултрависоко-модулни	440-966

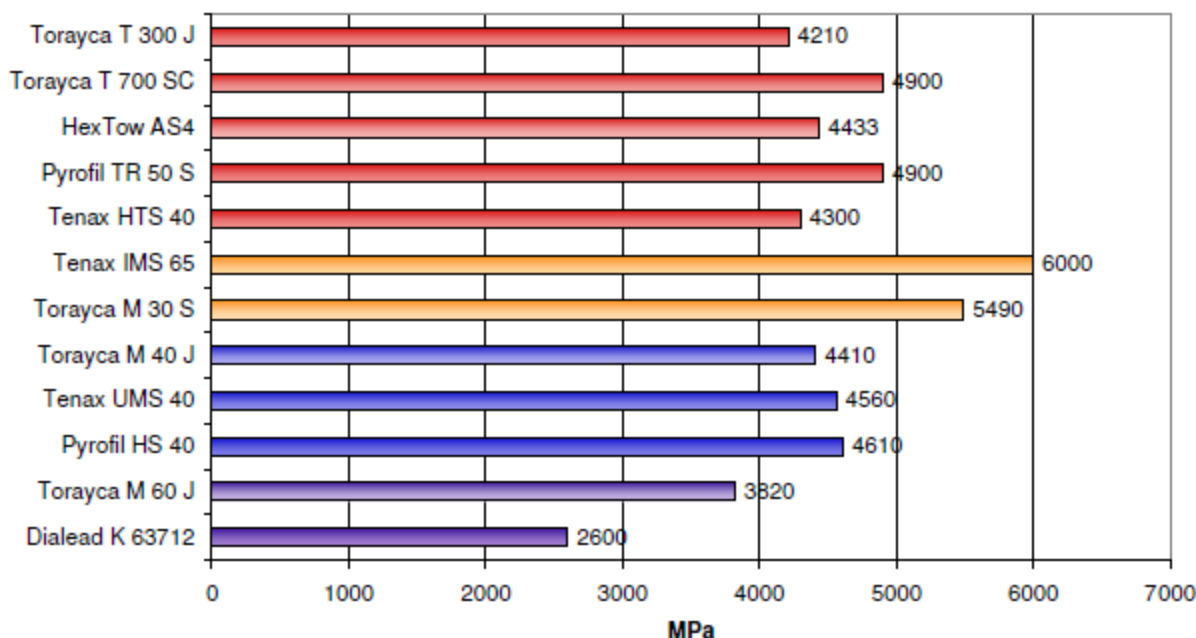
Јаглородните влакна имаат густина од $1,75 \text{ g/cm}^3$, што ги прави најкрути високоперформансни влакна во однос на нивниот специфичен модул (модулот поделен со густината или специфичната тежина)

33.5.3. Механички карактеристики

На сликите 33.7, 33.8 и 33.9 дадени се вредностите за основните механички карактеристики на повеќе комерцијални типови на јаглородни влакна од фирмите:

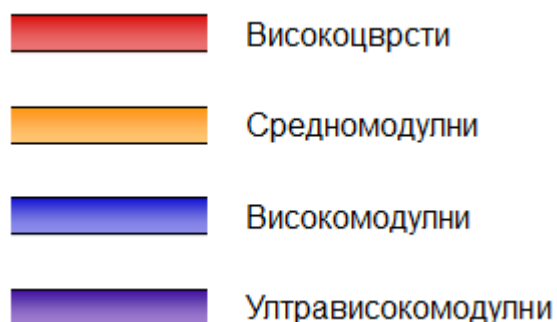
Toray Industries, Inc. (*Torayca*); Hexcel (*Hex Tow AS4*); Grafil Inc. (*Pyrofil TR 50 S*)
Teijin Tenax (*Tenax UMS 40*); Mitsubishi Plastics (*Dialead K 63712*)

Јакост на затегање

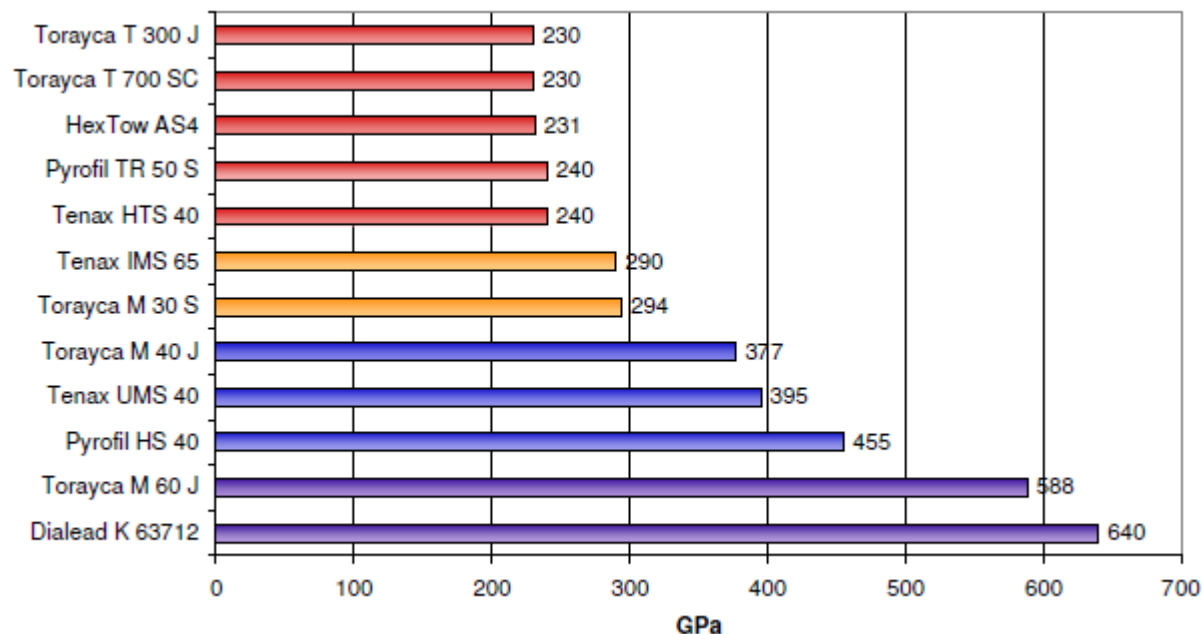


Слика 33.7. Јакост на некои комерцијални типови јаглородни влакна

На сликите 33.7, 33.8 и 33.9 разните бои на колоните претставуваат различни типови на јаглеродни влакна, според легендата десно.

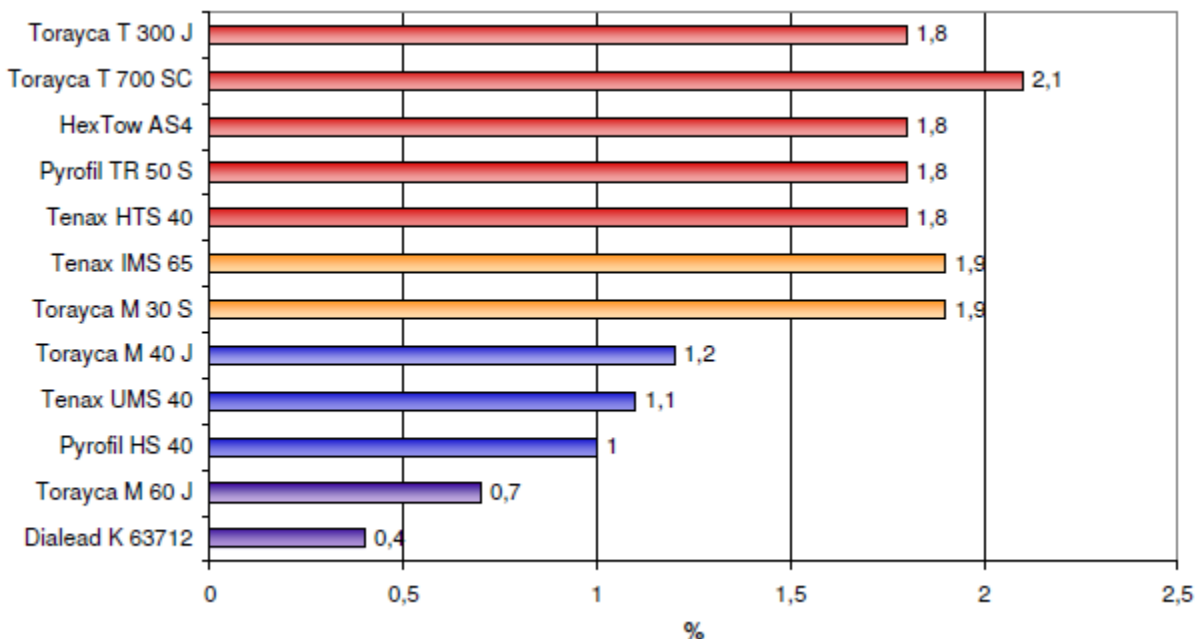


Модул на затегање



Слика 33.8. Модул на некои комерцијални јаглеродни влакна

Издолжување



Слика 33.9. Издолжување на некои комерцијални јаглеродни влакна

Како што се гледа од сликите 33.7, 33.8 и 33.9 јаглородните влакна покриваат широк опсег на особини што значи дека можат да бидат погодни за широк спектар на апликации.

Развојот на јаглородните влакна врз база на полиакрилонитрилен прекурсор беше потстрекнат во 1980–тите години со примената на композитите кај воените авиони. Бидејќи композитите врз база на јаглородни влакна овозможуваат редуцирање на тежината што значи зголемување на дометот, поголем товар и подобрени перформанси на авионите. Многу брзо и производителите на патнички авиони (Boeing, Airbus) почнаа да ги користат овие влакна (т.е. композити) во производството на авионите. Најновиот и најсовремен авион на Boeing, 787 Dreamliner употребува 50% по тежина во конструкцијата на авионот како што е прикажано на слика 33.10.

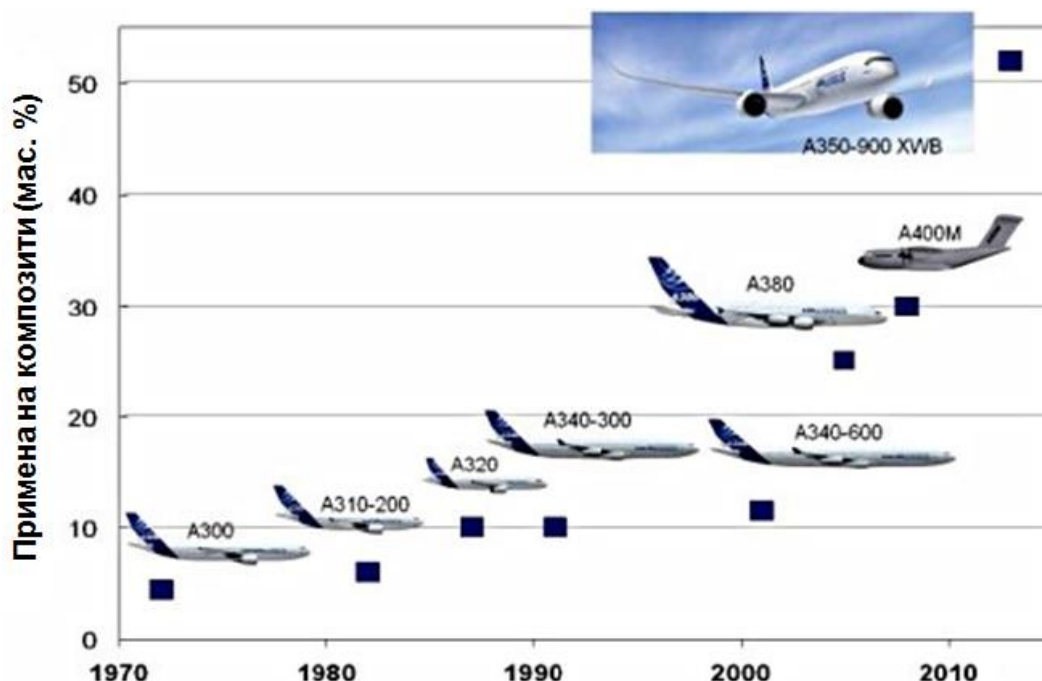


Слика 33.10. Примена на композити од јаглородни влакна кај нова генерација на патнички авион

Еволуцијата на примената на јаглородните композити и другите типови на композити кај европскиот производител на патнички авиони Airbus дадена е на слика 33.11. Како што може да се види, повеќе од 50% од најновата генерација на авиони имаат конструктивни делови врз база на композити.

Бидејќи овозможуваат многу благопријатни перформанси, јаглородните влакна наоѓаат примена кај спортски реквизити: скии, велосипеди, автомобили од формула 1, палици за голф, прачки за риболов, тениски рекети и други. Понатаму, јаглородните влакна се користат во медицинската опрема (протетски, анестетски маси), во индустријата и инфраструктурата.

Јаглородните влакна врз база на PAN прекурсор според друга класификација се класифицирани во две групи: *категорија за авио-индустрија*, со строги барања за критични апликации, и *категорија за комерцијална употреба* каде се користи ровинг со 46000 филаменти (46K).



Слика 33.11. Развој на примената на композити од јаглеродни влакна кај флотата на Airbus.

По завршетокот на студената војна, воените потреби од јаглеродни влакна се смалија, меѓутоа потребите кај патничките авиони и спортските реквизити рапидно се зголемија. Во Јапонија, на почетокот од овој век јаглеродните влакна масовно се користат во градежната индустрија како зајакнувачи на цемент за изработка на лесни фасадни сидови.

Последниве 20-тина години, заради големата побарувачка, изградени се многу капацитети за производство на јаглеродни влакна, пред се во САД, Јапонија и Европа. Поголемата достапност доведе до рапиден пад на цената на влакната. Категоријата влакна за авио-индустријата падна во цената од 60 \$/kg во 1992 на 17 \$/kg во 2000, додека комерцијалната категорија падна на 14 \$/kg.

Намалената цена, од друга страна, овозможува уште поголема примена на јаглеродните влакна и за апликации кај кои до скоро тоа не беше исплатливо.

§34. СТАКЛЕНИ ВЛАКНА

34.1. ВОВЕД

Комерцијалното производство на стаклени влакна почнало во САД во 1937 година, од страна на Owens Corning Fiberglas Corporation. Се произведувале во форма на континуирани, сечкани (штапелни) влакна и како стаклена волна. Првобитната примена на стаклената волна била за изолација, на штапелните за филтрација, додека континуираните влакна се преработувале во ткаенини кои

се импрегнирани со лакови и смоли и преработувани во електро-изолациони ламинати. Развојот на полиестерските смоли во 1935 год. дал природен потстрек за комбинирање со стаклените влакна.

Првите финални производи кои биле направени од пластика армирана со стаклени влакна биле непробојни резервоари за гориво, безмагнетни мини, заштитни оклопи и други лесни неметални делови за: воените авиони, персоналот и сувоземните транспортни средства. За време на втората светска војна стакленото влакно е прогласено за стратешки материјал, што на свој начин довело до експанзија на неговото производство.

При крајот на војната било неопходно да се запознаат сите останати научници (не само воените), инженери и конструктори со особините стакленото влакно за да би можеле развиените уникатни производните од овој материјал да се користат за мирновременски цели и како производните капацитети изградени за втората светска војна бескорисно не би се упропастиле а со тоа изгубиле многу работни места. Така, фирмата Owens Corning Fiberglas Corporation се зема за задача да ја запознае американската јавност со големиот потенцијал на овие влакна. Фирмата им дава лиценца на неколку американски и странски фирми за производство на стаклени влакна. Истражувањата и развојот, потстрекнати со живата конкуренција на производителите, го раскрачија патот на големата експанзија и производство на стаклените влакна. Подобрената технологија резултирала во влакна со голема хемиска отпорност, голем модул на еластичност и со многу други посакувани особини.

Во однос на тежината, повеќе од 99 % од стаклените влакна кои се во употреба денес се добиваат од силикатно стакло, што значи содржат најмалку 50 mol.% SiO₂, останатите ingredienti се метални оксиди.

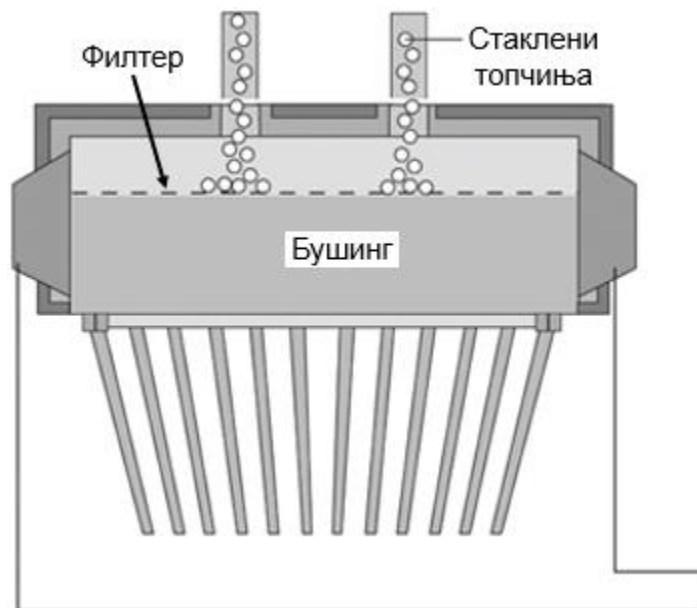
34.2. ДОБИВАЊЕ НА КОНТИНУИРАНИ ВЛАКНА

Во суштина постојат два процеси за добивање континуирани стаклени влакна: кугличен процес, кој е постар и поневажен и директен процес.

34.2.1. Кугличен процес

Кај овој процес суровините (оксидите) се топат во посебна печка и од течната стаклена маса се прават стаклени топчиња со дијаметар 20 mm. Потоа топчињата се транспортираат во т.н. кугличен бушинг каде се врши нивно повторно топење, слика 34.1. На дното од бушингот се наоѓаат минијатурни отвори (спинеретот) низ кои под дејство на гравитација истекува стопената маса во вид на влакна. Овие влакна, потоа, се влечат по механички пат, се скробираат („омастуваат“) за да се спречи интер-филаментната абразија, се собираат во *сноп* и се намотуваат на ротирачки калем. Овој процес денес се користи само за производство на пофини филаменти. Неговата предност е во тоа што ако има

неквалитетни топчиња тие можат да се елиминираат од процесот со што се одбегнува неквалитет во финалниот производ.

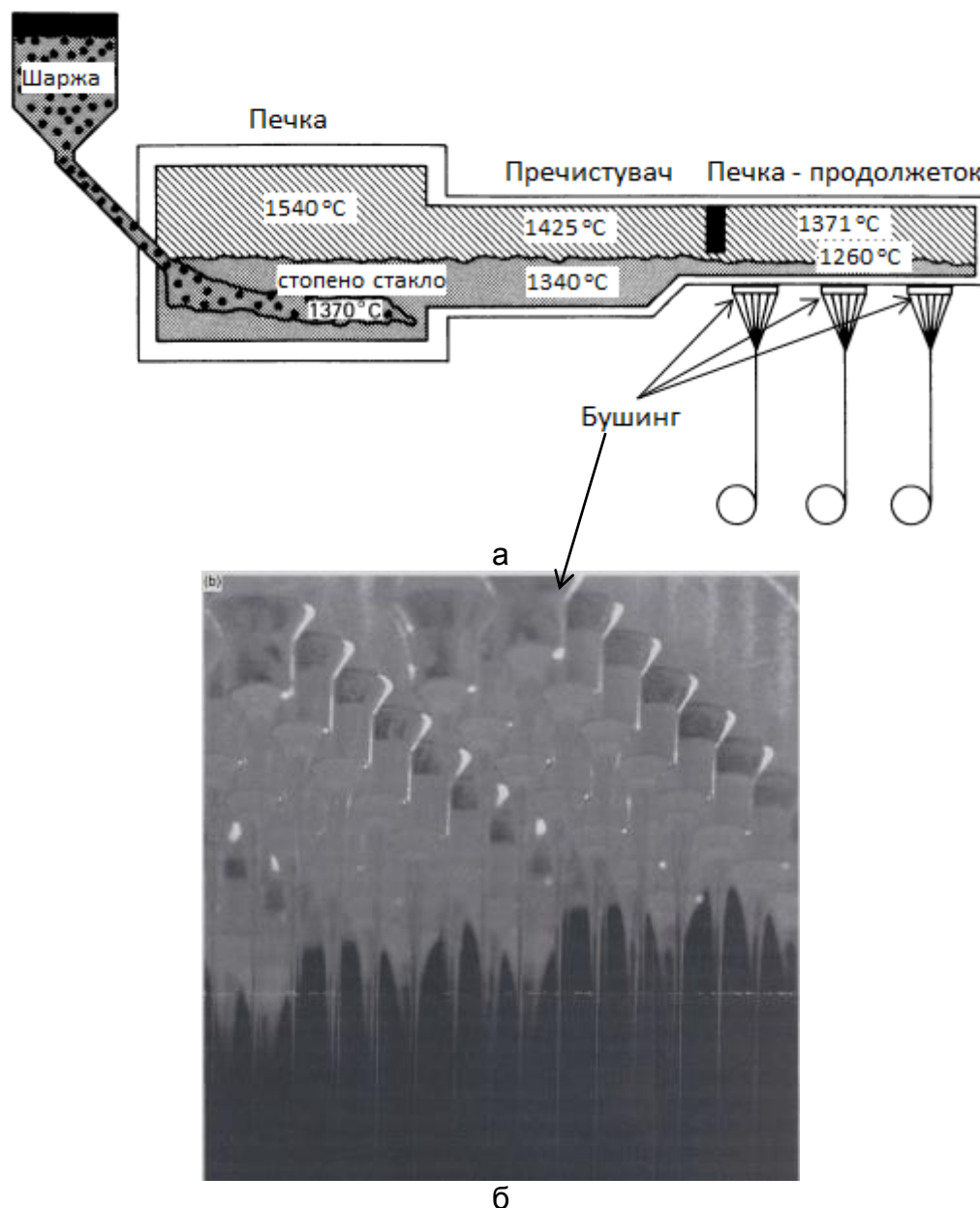


Слика 34.1. Производство на континуирани стаклени влакна по куглична постапка

34.2.2. Директен процес

Со напредокот на технологијата фазата на повторно топење на топчињата е отфрлена. Кај директниот процес, бушингот е во продолжение на печката за топење на суровините, така да стопената, течна стаклена маса од печката, директно доаѓа во бушингот, слика 34.2. Пред да стигне во бушингот од стопената маса се отстрануваат меурчињата и нечистотиите во делот за рафинација (пречистување) во кој се врши и ладење на масата до соодветна температура за да се постигне саканиот вискозитет погоден за формирање на влакната.

Предноста на директниот процес е во тоа што фазата на повторно топење на стаклените топчињата е целосно отфрлена. Постојат многу изведби на печките но генерално тие се големи, плитки и добро изолирани садови кои се греат од горната страна. Бушингот, кој всушност е минијатурна правоаголна печка, е изработен од легура на платина и родиум и се грее со електрична струја врз база на сопствениот електричен отпор. Од извонредна важност за дијаметарот на основниот филамент е вискозитетот на растопената маса т.е. температурата во бушингот, заради што, на овој начин (преку сопствениот електричен отпор), таа се држи во строго одредени граници од $1200 - 1600 \pm 0,3$ °C, во зависност од составот на масата. За Е-стакло таа е 1250 °C. Бројот на отворите на основата од бушингот е 204 или множител од овој број, односно од 51 ($1/4 \times 204$) до 2448 (48×204) макар што во последно време се оди и на поголем број на отвори.



Слика 34.2. Шема на директен процес (а); течење на стопено стакло низ платинумските дизни на бушингот (б)

Така, кога се вели „сноп“, тогаш се мисли на 204 паралелни филаменти кои претставуваат една целина. Дијаметарот на отворите зависи од бараниот дијаметар на основниот филамент и се движи во границите 0,793 – 3.175 mm. Додека се уште се високо вискозни влакната се влечат до пофин дијаметар и брзо се ладат. Филаментите од течна состојба, 1250 °C, се ладат до собна температура т.е. до температурата на која им се фиксира структурата за 10^{-5} секунди. Ладењето се врши со прскање со ладна вода. Типичниот дијаметар на финалните филаменти е од 3 до 20 μm .

34.3. ФИНИШИРАЊЕ

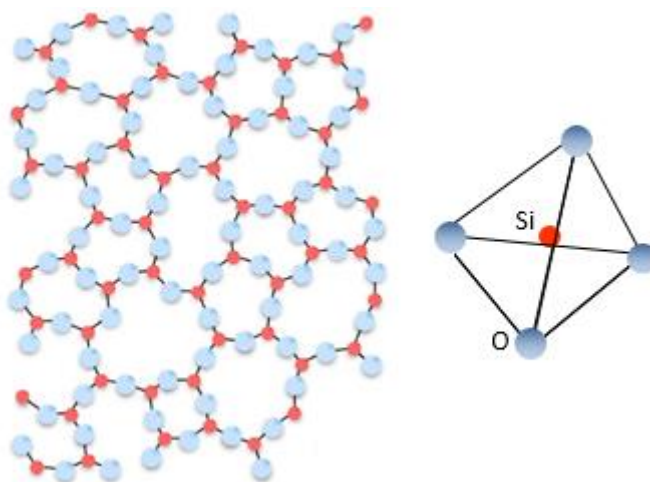
Стаклените филаменти се многу абразивни едни со други. Заради тоа, пред да се соберат во снопот, поединечните филаментите се „омастуваат“ т.е. на површината им се нанесува облога или филм (финиш) која ќе ја спречи интерфиламентната абразија и абразијата со деловите на машини низ кои поминуваат влакната во наредните фази на преработка. Абразијата ги оштетува влакната што последователно негативно се одразува врз нивните механички карактеристики. Покрај оваа финишот има и врзивна улога со што ги држи влакната заедно во снопот.

Финиширањето може да биде *привремено* и *перманентно*. За привремено финиширање (*sizing*) обично се користат: емулзија скроб-масло, емулзија скроб-вода, поливинил алкохол, маснотии, восок итн. во количина од 1,5-3,5 %. Емулзиите имаат способност да апсорбираат влага со што стекнуваат лубрикативни и абразивно-отпорни особини. Привременото финиширање се врши на филаменти кои се предат во предено и потоа се ткаат во ткаенини. По ткаењето се врши „одмастување“ т.е. финишот термички се отстранува (спалува) со што се добива пречистена ткаенина.

Така прочистените влакна, потоа перманентно се финишираат со соодветен агенс (*coupling agent*) кој е компатибилен со смолата со која влакната се наменети да градат композит. Трајниот финиш е хемиски агенс кој има двојна улога: да ги заштити филаментите од меѓусебна абразија и да послужи како интерфејс меѓу смолата и влакното, за подобра адхезија, при производството на композити. Таквите агенси се врз база на поливинил ацетат, полистирен, полиакрилати, силани, полиестерски и епоксидни смоли. Тие се нанесуваат во количина 0,5 – 2,5 % по маса, во зависност од финалната намена.

34.4. СТРУКТУРА

Основа на текстилните типови на стаклени влакна е силициумот, SiO_2 . Во чиста форма тој егзистира како полимер, $(\text{SiO}_2)_n$. Нема вистинска точка на топење но омекнува на 1200 °C кога почнува и да се разградува. Во полимерот, тој формира SiO_4 групи кои се конфигурирани како тетраедар со силициумовиот атом во центарот и четирите кислородни атоми на ѓошевите, слика 34.3. Стаклените влакна се аморфни бидејќи ориентацијата на тетраедарите еден во однос на друг е хаотична. Кислородните атоми на ѓошевите од тетраедарите се заеднички за два соседни тетраедари. Та тој начин целокупната хемиска композиција се состои од SiO_2 .



Слика 34.3. Молекуларна структура на стаклото

34.5. СУРОВИНИ

Стартните сировини за производство на стаклените влакна се силициумов песок со додаток на различни количини на фелдспат, натриум сулфат, анхидриден боракс, борна киселина, вар, магнезит каолин глина и многу други материјали. Од складиштето материјалите се мерат според саканата рецептура и потоа убаво се блендираат пред да се внесат во печката. Мерењето, блендирањето и шаржирањето можат да се извршат како континуиран процес или како шаржен (дисконтинуиран).

34.6. ТИПОВИ НА СТАКЛЕНИ ВЛАКНА

Стаклените влакна според намената се класифицирани во две категории:

- Обични, евтини, за општа намена
- Премиум, за специјална намена

Табела 34.1. Типови на стаклени влакна

Буква (ознака)	Значи	Карактеристика
E, electrical	електро-отпорно	Електро-изолационо
S, strength	јакост	Голема јакост
C, chemical	хемиски-отпорно	Хемиски отпорно
M, modulus	високо модулно	Круто
A, alkali	алкално	Алкално
D, dielectric	диелектрично	Ниска диелектрич. конст.

Преку 90 % од сите стаклени влакна се за општа намена. Овие влакна се познати како Е-влакна, останатите се за специјална намена . Многу од нив како Е-

влакната имаат ознака со буква која е соодветна на нивната намена. Во табелата 34.1 претставени се специјалните типови на стаклени влакна.

Во табелата 34.2 е даден составот на некои типови влакна.

Табела 34.2. Состав на некои типови стаклени влакна (теж.%)

Влакно	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	F ₂
E	52-56	4-6	12-15	21-23	0.4-4	0.2-0.5	0-1	0.2-0.4	0.2-0.7
E-без B	59.0	-	12.1	22.6	3.4	1.5	0.9	0.2	-
D	74.5	22.0	0.3	0.5	-	-	<1.3	-	-
S	60-65	-	23-25	0-9	6-11	-	0-0.1	0-0.1	-

Е-стаклени влакна

Е - стаклените влакна главно се користат како зајакнувачи за многу органски полимери (пластика). Називот Е-стакло му доаѓа од неговата првобитна намена како зајакнувач за електро апликации. На собна температура Е-стаклото има многу голема електрична отпорност. Заради тоа е многу погодно како зајакнувач за плочи за печатени кола. Хемиската отпорност на Е-стаклото во кисели раствори е многу добра и ја надминува онаа на не'рѓосувачкиот челик во киселини кои содржат хлорни јони. Повеќето типови на Е-стакло содржат бор. Во последно време Е-стакла без бор или флуор се повеќе се широко прифатени во индустријата на стаклени влакна заради пониската цена и заради тоа што нема издвојување на штетни пареи при топењето на материјалот. Овие (безборни) стакла имаат дури и поголема хемиска постојаност кон кисели раствори отколку стаклото што содржи бор, но исто така имаат и повисока температура на топење. Заради одличната хемиска отпорност, посебно во кисела средина, формираат посебна подкласа од Е-стаклото наречена ECR (*chemically resistant*).

34.7. ОСОБИНИ

34.7.1. Механички и физички особини

Во табелата 34.3 дадени типичните вредности за неколку типови стаклени влакна.

Модулот на Е-стаклото е функција од хемиските сили што егзистираат во аморфната решетка. Со намалувањето на јакоста и бројот на хемиските врски во тридимензионалната мрежа, исто така, се намалува и модулот. Тоа значи дека со внесување на модификатори во мрежата како што се алкални елементи или нивни оксиди резултира со намалување на модулот (Е-стаклото е уште познато како безалкално стакло). Модулот на типичните стаклени влакна (типична композиција) е од редот 70-80 GPa. Исто така, и јакоста на затегање зависи од хемиската композиција на влакната. За типично Е-влакно јакоста на затегање е околу 3,5 GPa. Чисто силициумови филаменти покажуваат максима-

Табела 34.3. Некои механички и физички особини на стаклени влакна

Влакно	Густина, g/cm ³	Јакост на затегаше, MPa	Модул, GPa	Издолжување при прекин, %	Точка на омекнување, °C
E	2,54	3100-3800	76-78	4,5-4,9	830-860
E-без B	2,62	3100-3800	80-81	4,6	916
D	2,16	2410	-	-	770
S	2,48	4380-4590	88-91	5,4-5,8	760

на јакост од 7 GPa. Алкалните модификатори ја смалуваат јакоста на затегање до околу 2,5-3 GPa. Борните, фосфатните и оловните силикатни стакла типично имаат јакост од приближно 1-2 GPa.

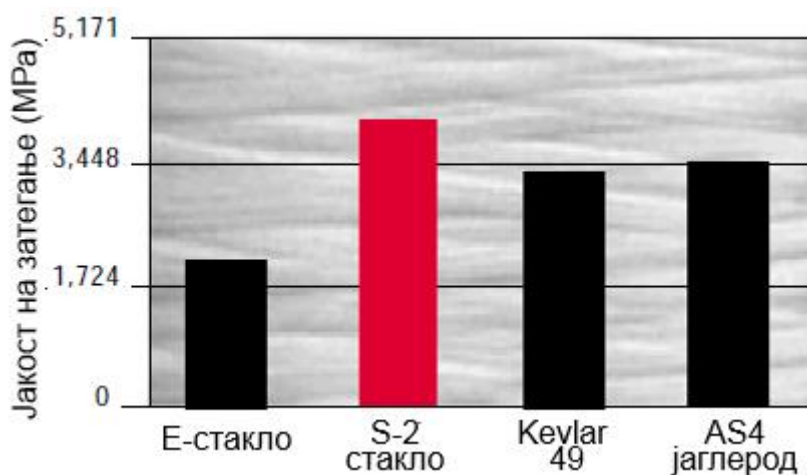
Ако се сака поголема јакост тогаш изборот паѓа на *високо-цврстото стакло*, кое е прво развиено за воени апликации во 1960-тите години. Познато како S-стакло во САД, R-стакло во Европа и T-стакло во Јапонија, ова влакно поседува јакост на затегање од приближно 4,8 GPa и модул до 9,5 GPa. S-стаклото има значително поголема содржина на силициум, алуминиум и магнезиум оксид од E-стаклата и е 40-70 % појако од нив. E- и S-стаклото губат до половина од својата јакост на затегање со порастот на температурата од амбиентна до 538 °C, иако до овој температурен опсег двете стакла се уште покажуваат добра јакост. Производителите континуирано работат на нови рецептури на стаклени влакна за подобрување на нивните особини. Неодамна (2012 год.) фирмата AGY лансира на пазарот нов тип високо-модулно стаклено влакно, S-3 UHM (*ultr-high modulus*), со неверојатен модул од 99 GPa.

Високо-цврсти стаклени влакна (S- и R-стакло)

Високо-цврстото стакло типично има голема содржина на SiO₂ од другите типови на стаклени влакна (стаклените влакна, колоквијално, кај нас се познати како *фиберглас*). Заради тоа овие стакла имаат многу повисока температура на топење од E-стаклата. Стаклените влакна со најголема јакост на затегање се познати како S-2 – стакло. Ова магнезиум-алуминиум-силикатно стакло (се состои од 65 % SiO₂, 25 % Al₂O₃, 10 % MgO) има јакост на затегање поголема од 50 % во однос на стандардното E-стаклото. Се топи во мали шаржи во високо-температурни печки. Како резултат на тоа е релативно скапо и се користи само за специјални апликации каде се бара многу висока термичка постојаност и задржување на јакоста. Терминот *високо-перформансни стакла* се користи за да се карактеризираат овие стакла.

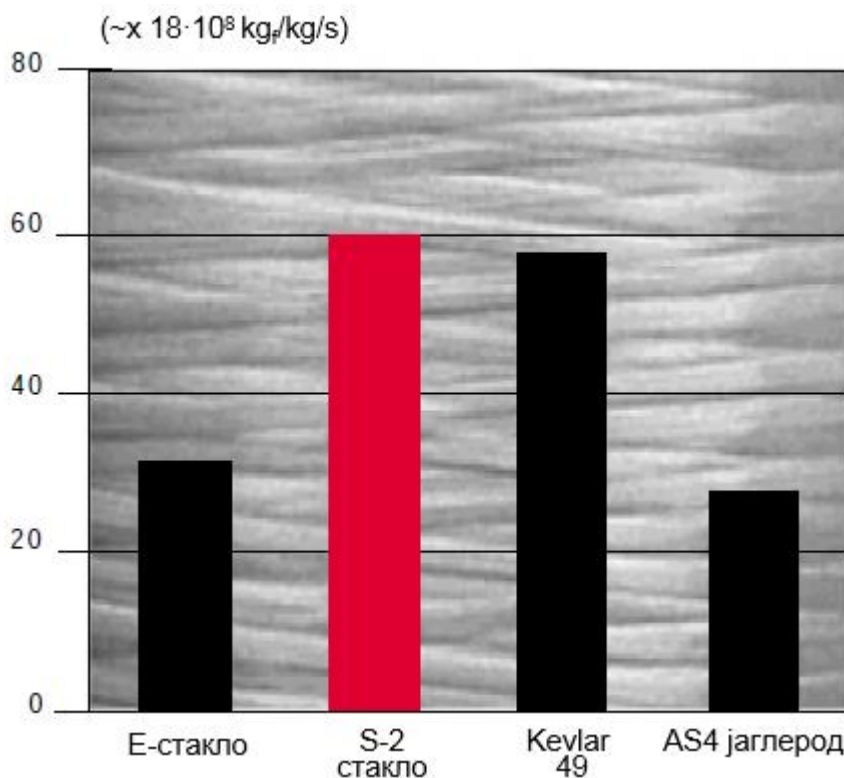
Во продолжение ќе презентираме некои од извонредните особини на S-2 стаклените влакна споредени со други високо-перформансни влакна превземени од техничката литература на производителот – AGY (САД):

- * Извонредна јакост на затегање на импрегниран сноп од влакна, слика 34.4.



34.4. Јакост на затегање на импрегниран сноп од влакна

- * Извонредна ударна отпорност (за балистичка намена), слика 34.5. Го користи американската војска за заштита на своите членови во пешадија, морнарица и авијација.



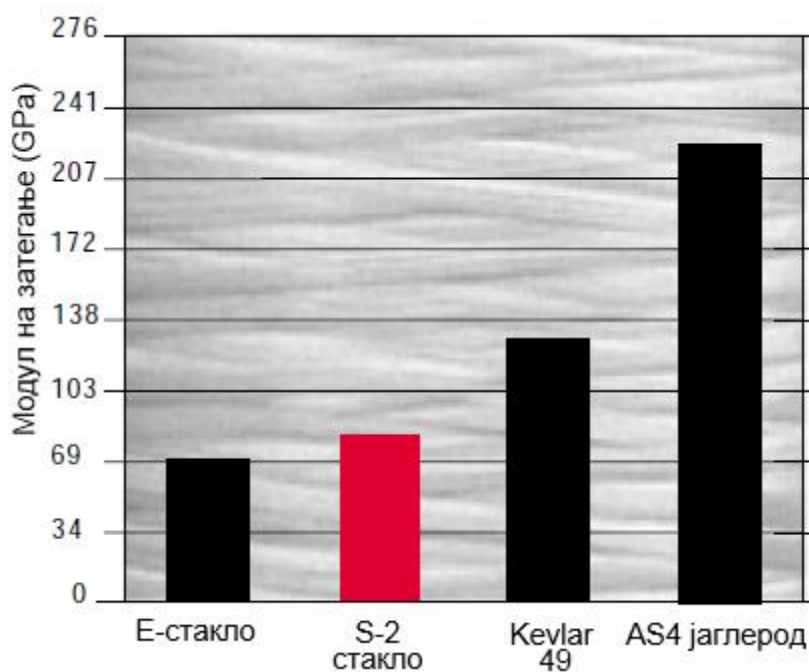
34.5. Способност на влакната за деформација при удар

Овозможува максимална заштита со минимална цена. Исто така, американскиот амфибиски брод WASP е целосно заштитен со S-2 стаклено

vlakно. Генерално, кај сите воени возила S-2 композитите имаат двојна функција: за балистичка заштита и како структурни елементи.

★ Модул на затегање на влакната

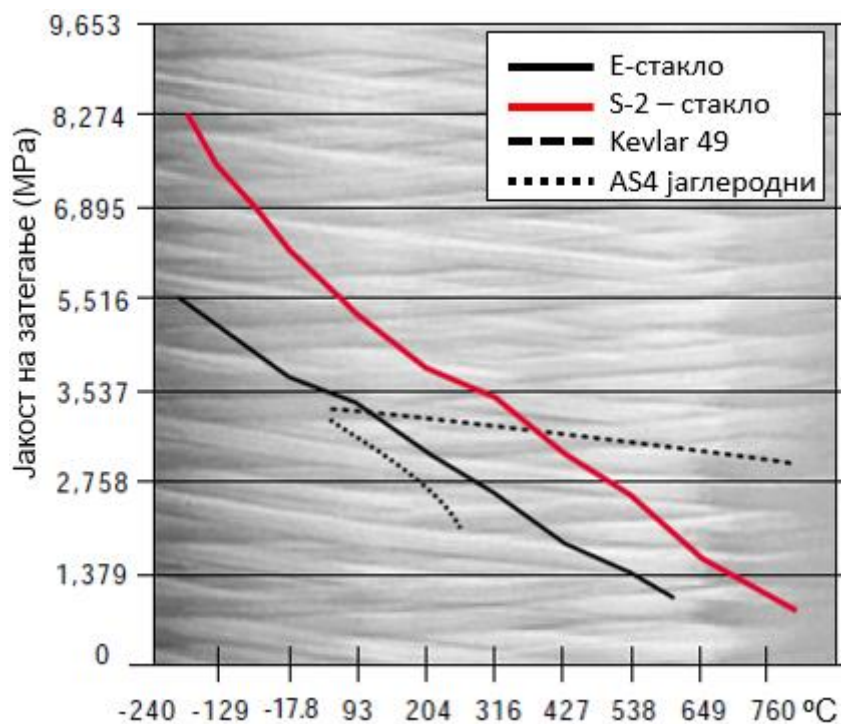
S-2 стаклените влакна покажуваат 25 % поголема крутост од конвенционалните стаклени влакна и во комбинација со зголемената ударна жилавост, слика 34.6, ги прави идеални за авионски патос. Авионскиот патос треба да издржи оптоварувања на свиткување, да го издржи концентрираното оптоварување од стапалата и количките, да е отпорен на пламен, на корозија (ова не е буквално „корозија“ туку значи отпорност на комбинирано дејство на влага и оптоварување) и влага, и сето тоа во рамки на прифатлива цена на чинење.



34.6. Модул на затегање

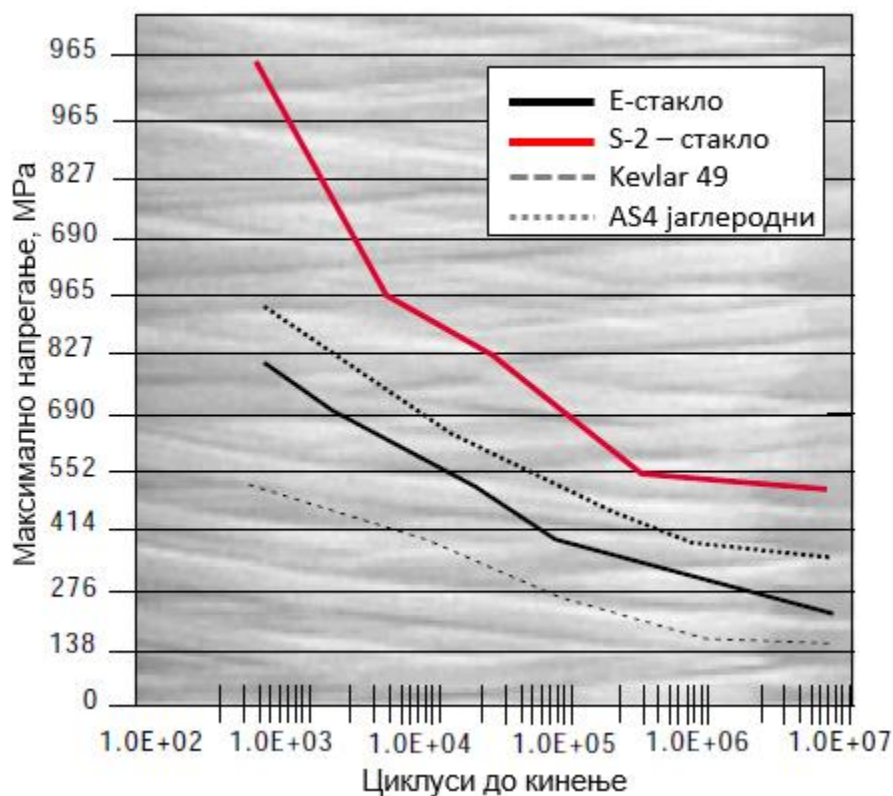
★ Зголемена температурна отпорност

S-2 влакната повеќе ја задржуваат својата јакост на затегање на повишена температура од конвенционалните Е-влакна и се функционални до 760 °C, слика 34.7. На пример инженерите на Ford за своите патнички возила и трактори користат дихтунзи (заптивки) врз база на S-2 влакна.



Слика 34.7. Температурна отпорност

★ Зголемена отпорност на замор при затегање

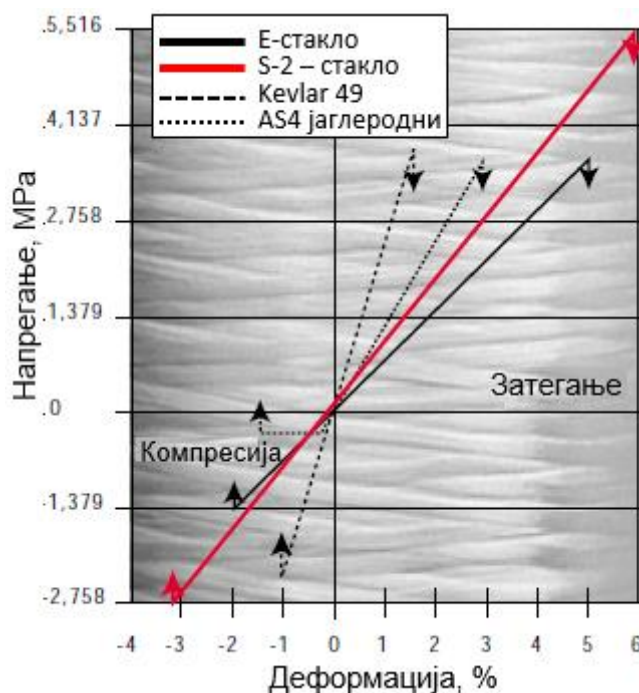


Слика 34.8. Отпорност на замор при затегање

S-влакната покажуваат и зголемена отпорност на замор, слика 34.8 што е особина која ја користат производителите на хеликоптери за изработка на роторот и перките од хеликоптерот

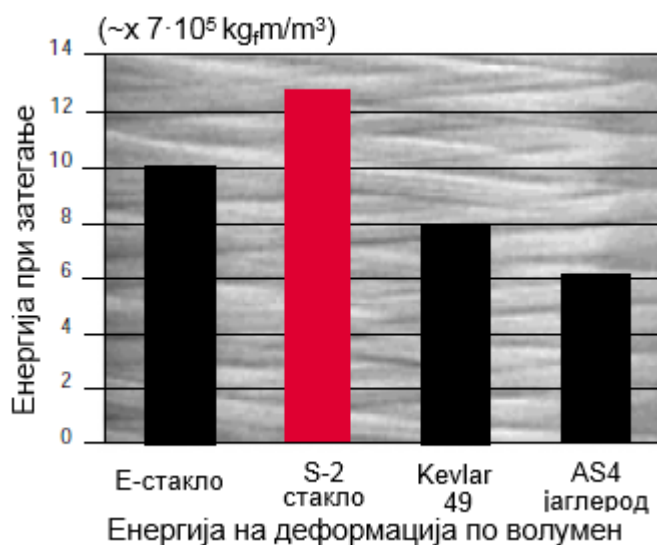
★ Напрегање-деформација крива

Кривата напрегање деформација е линеарна се до точката на кинење, слика 34.9.



Слика 34.9. Криви напрегање-деформација

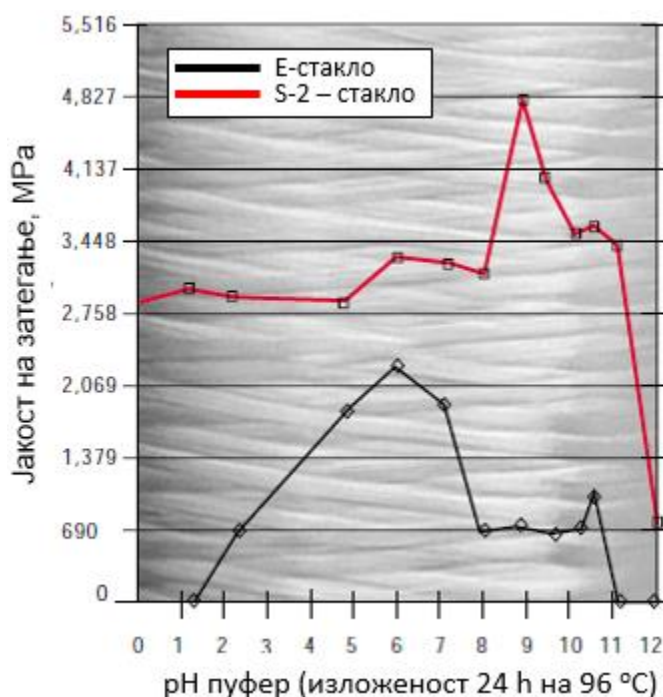
★ Жилавост на S-2 влакната, слика 34.10



Слика 34.10. Енергија за деформација при затегање во однос на волуменот

34.7.2. Хемиски особини

Имајќи во предвид дека секој оксид кој влегува во состав на стаклото има свој придонес кон одредена карактеристика на стаклото, врз база на хемискиот состав на стаклото, односно тежинскиот процент во составот, може да се суди за придонесот на дадениот оксид врз севкупните карактеристики на стакленото влакно. Така на пример, SiO_2 се одликува со многу мала термичка експанзија, додека Na_2O , K_2O – со висока експанзија и со слаба отпорност на дејството на водата: CaO , MgO – е со подобра постојаност на дејството на водата, киселините и базите. Хемиското, С – стакло, т.е. натриум-калциум-борсиликатното стакло се одликува со извонредна хемиска постојаност спрема дејството на киселините и базите.

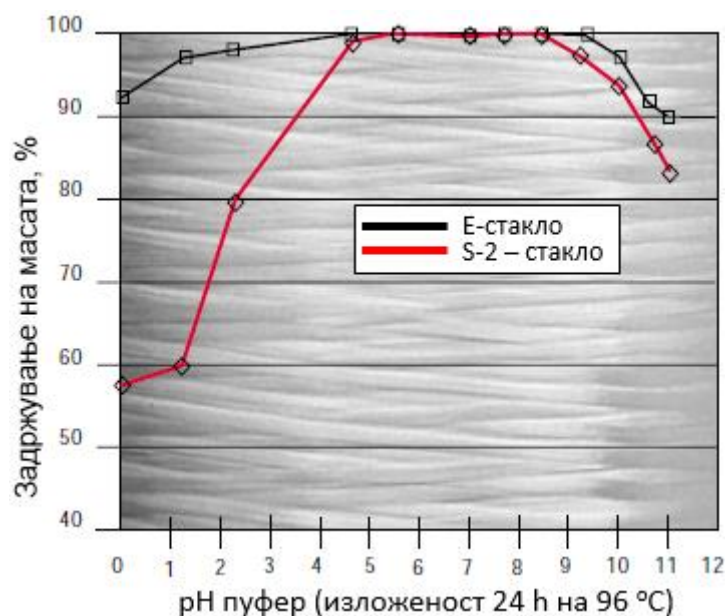


Слика 34.11. Јакост на затегање во зависност од изложеноста во средина со различна pH вредност

На сликите 34.11 и 34.12 презентирана е загубата на јакоста и на маса, соодветно, на S-2 влакната по 24 часа изложување на температура од 96 °C.

34.7.3. Основни особини на стаклените влакна

- Ниска цена
- Висока продуктивност
- Висока јакост
- Висока крутост
- Релативно мала густина



Слика 34.12. Задржување на масата во зависност од изложеноста во средина со различна рН вредност

- Незапаливи
- Отпорни на топлина
- Добра хемиска отпорност
- Релативно нечувствителни на влага
- Ја задржуваат јакоста во широк опсег на услови
- Добра електрична изолација

§35. КЕРАМИЧКИ ВЛАКНА

35.1. ВОВЕД

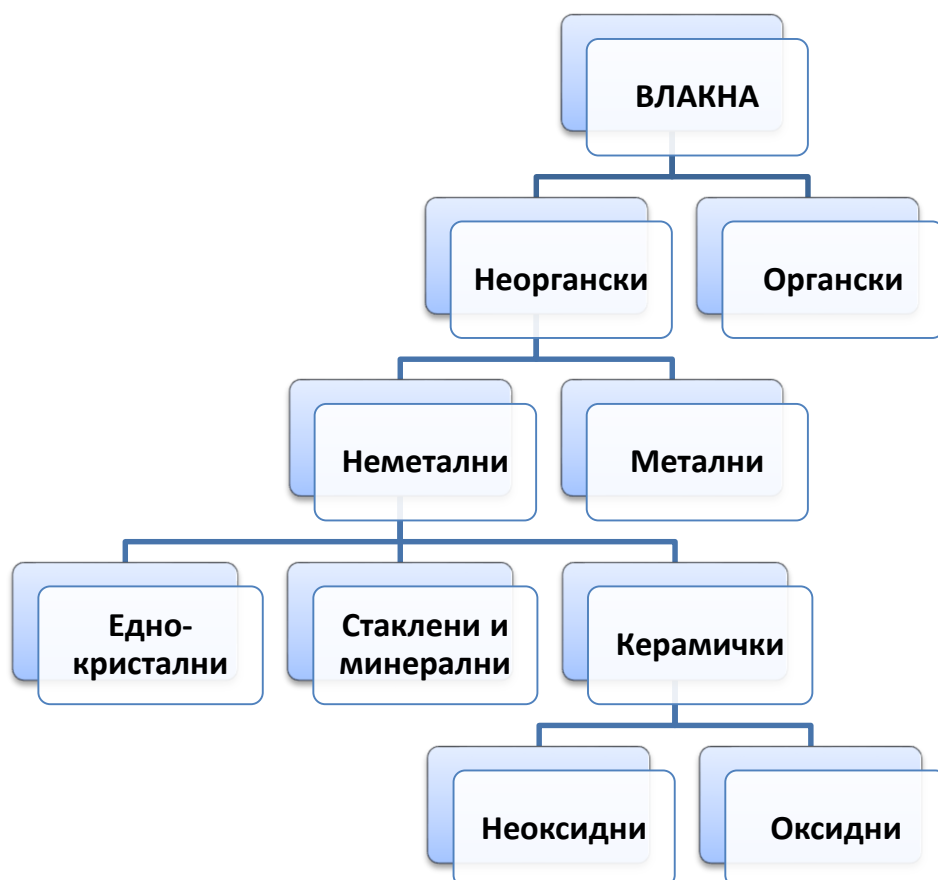
Повеќето композити со керамичка матрица (ККМ) се зајакнати со континуирани, мулти-филаментни керамички влакна во вид на ровинг. Ровингот типично се состои од 500 до 1000 филаменти, секој со дијаметар од 10 до 15 μm . Ваквите ровинзи се флексибилни, лесни за манипулација и можат да се ткаат во ткаенини и можат да се користат за изработка на композити со комплексен облик. Исто така, за зајакнување на керамички композити можат да се користат моно-филаментни влакна но тие имаат неколку недостатоци. На пример, моно-филаментните влакна (посебно еднокристалните) се многу скапи и нивниот голем дијаметар, $> 75 \mu\text{m}$, го смалува нивниот радиус на свиткување што го прави производството на сложени облици многу тешко. Затоа, во продолжение ќе го задржиме нашето внимание на мулти-филаментните ровинзи. Постојат мноштво на прекурсори и процесни техники за производство и на оксидни и на неоксидни керамички влакна од кои најважните ќе бидат презентирани.

35.2. ПОДЕЛБА

Како што може да се види од класификацијата на различните типови на влакна, слика 35.1, генерално, керамичките влакна се поделени во две групи: оксидни и неоксидни. Како што навестуваат називите, оксидните влакна се врз база на оксиди како што се на пример алуминиум оксид, Al_2O_3 , мулит, $3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ и други, додека неоксидните влакна се врз база на неоксидни прекурсори како што се, на пример, силициум карбид, SiC , бор нитрид, BN и други.

Неоксидните влакна имаат супериорна јакост и добра отпорност на ползење но се осетливи на деградација од оксидација. Оксидните влакна се природно отпорни на оксидација но имаат ограничена отпорност на ползење на повишена температура заради големата дифузивност на оксидните материјали.

Постојат мноштво на прекурсори и процесни техники за производство на оксидни и неоксидни керамички влакна. Преку овие техники структурниот развој како и низа особини на влакната како што се модулот, густината, диелектричната константа и јакоста на затегање можат да се контролираат. Основна карактеристика на зајакнувачките керамички влакна за композити е нивната ултрафина микроструктура.



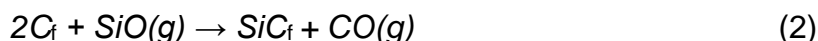
Слика 35.1. Класификација на различни типови влакна

35.3. ДОБИВАЊЕ НА НЕОКСИДНИ ВЛАКНА

Повеќето неоксидни влакна се врз база на силициум. Силициумот е хемиски елемент со симбол Si и атомски број 14. Тој е четиривалентен металоид и е вториот најзастапен елемент во Земјината кора (по кислородот) образувајќи околу 25,7 % од нејзината маса. Микроструктурата на керамичките влакна врз база на Si може да биде кристалинична, аморфна или смеса на кристалиничен и аморфен материјал.

Најстариот комерцијален процес за производство на неоксидни влакна е *хемиската депозиција на пареа, ХДП* (CVD – Chemical Vapor Deposition) на керамички материјал (типично SiC) врз загреан моно-филамент (на пример, јаглородно влакно или волфрамова жица). Овие влакна обично се користат за зајакнување на композити со метална матрица. SiC влакната припремени по ХДП се типично моно-филаментни со голем дијаметар, $\geq 75 \mu\text{m}$, кои се крти и неприкладни за ткаење или за други техники на предформирање. Покрај тоа, комерцијалните влакна се премногу скапи. Неодамна се направени напори за депонирање на SiC на мулти-филаментни јаглородни влакна, за да се произведат евтини влакна. Но, главна препрека за да се постигне тоа е начинот на кој ќе се распростри ровингот за да се постигне униформна ХДП врз моно-филаментните без да се предизвика интер-филаментно спојување што е непожелно за постигнување добри механички карактеристики.

Друга техника на производство е *хемиска конверзија на јаглородни влакна* (C) во SiC влакна (SiC). Конверзијата, типично, вклучува реакција на јаглородните влакна со силициумова или силициум-моноксидна пареа според следниве равенки:



За да биде успешна конверзијата, потребно е јаглородните влакна да бидат порозни т.е. активирани. Конверзијата во SiC е можна затоа што активираните јаглородни влакна имаат голема површинска нанопорозност која овозможува дифузија на SiO пареа низ влакното.

Меѓутоа, активираните јаглородни влакна, пред се, се наменети за пурификација (пречистување) на гасови и течности, а не како структурни влакна. Заради недостатоци на самиот процес и големата порозност, која останува и кај конвертираното влакно, финалните керамички влакна имаат мала јакост и низок модул.

Трета технологија за производство на неоксидни керамички влакна е *извлекување (екструзија) на керамички прав*. Најчесто, тоа е SiC во полимерно врзиво; по извлекувањето на влакната следи нивно синтерување. Меѓутоа, по

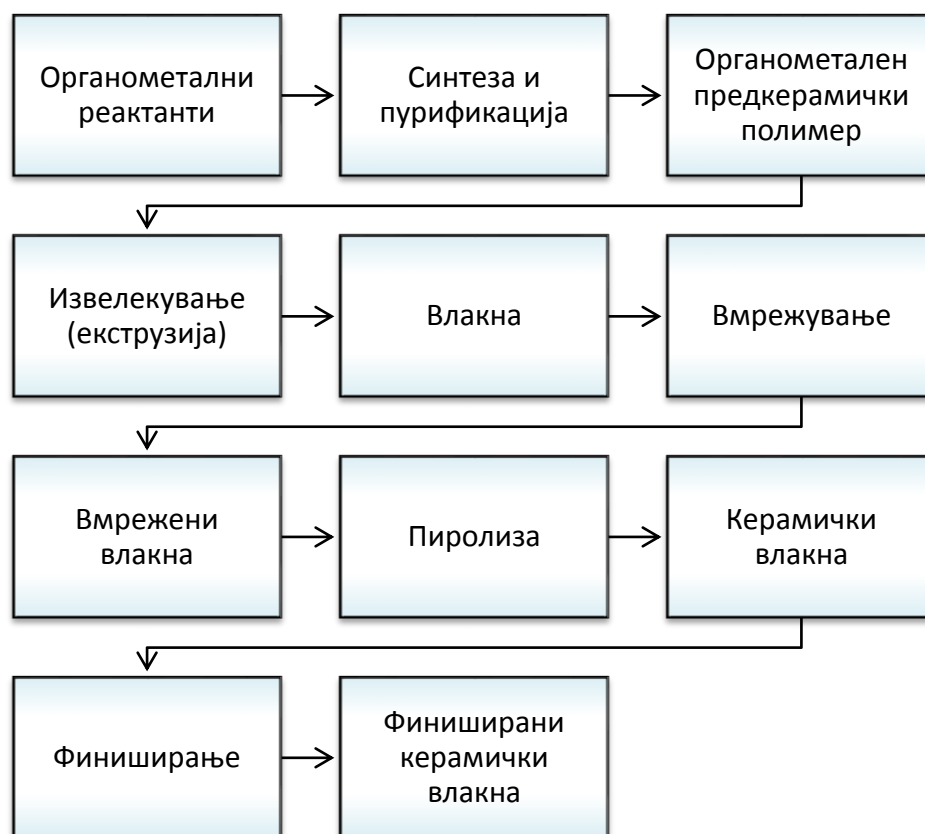
оваа технологија тешко е да се произведат влакна со помал дијаметар од 30 μm . Јакоста на затегање на синтеруваните влакна е лимитирана на приближно 1,4 GPa. Слабите големо-дијаметарски влакна произведени по оваа технологија се уште не се успешно исткаени во ткаенина.

35.3.1. Производство на предкерамички полимер

Комерцијално и развојно фини влакна (кои можат да се ткаат) се произведуваат со извлекување од растоп или со извлекување од раствор (сува постапка) на органометални полимерни прекурсори, кое е проследено со вмрежување за да се спречи топењето во текот на последователната пиролиза.

Предкерамичкиот полимерен процес е сличен на процесот на производство на јаглородни влакна од мезофазен катран или од полиакрилонитрилни (PAN) влакна.

На сликата 35.2. претставени се типичните фази на овој процес.



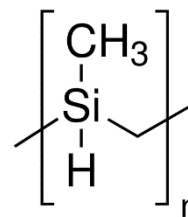
Слика 35.2. Типични фази во производството на керамички влакна од органометален полимерен прекурсор

Иако овој процес, во принцип, е едноставен, производството на влакна со голема јакост на затегање и висока термичка стабилност бара полимери со голема чистота, високо-квалитетно извлекување, и создавање на минимални нечисто-



Што се органометални полимери?

Соединенијата што содржат метал-јаглерод врска, R-M, се познати како органометални, како што е прикажано на примерот од поликарбометилсилан.



Поликарбометилсилан

тии и механички оштетувања во текот на извлекувањето, вмрежувањето, пиролизата и финалирањето. Мултифиламентно извлекување, обично од 200 или повеќе филаменти симултано, е неопходно за да се зголеми продуктивноста и намалат трошоците.

Извлекувањето вклучува два симултани процеси:

1. Екструзија (извлекување) од растоп или вискозен раствор низ спинерет.
2. Влечење на екструдираниите влакна со нивно намотување со поголема обртна брзина од брзината на екструзија.

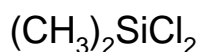
Предностите на овој процес се:

- Контрола на чистотата на влакната
- Контрола на морфологијата на керамиката (аморфна или кристалинична) и големината на кристалитите.
- Можноста за производство на фини, мулти-филаментни, континуирани влакна погодни за ткаење и плетење
- Можноста да се произведат нови метастабилни композиции кои не можат да се добијат на друг начин.

Следниве особини се пожелни за конверзија на полимерите во керамички влакна:

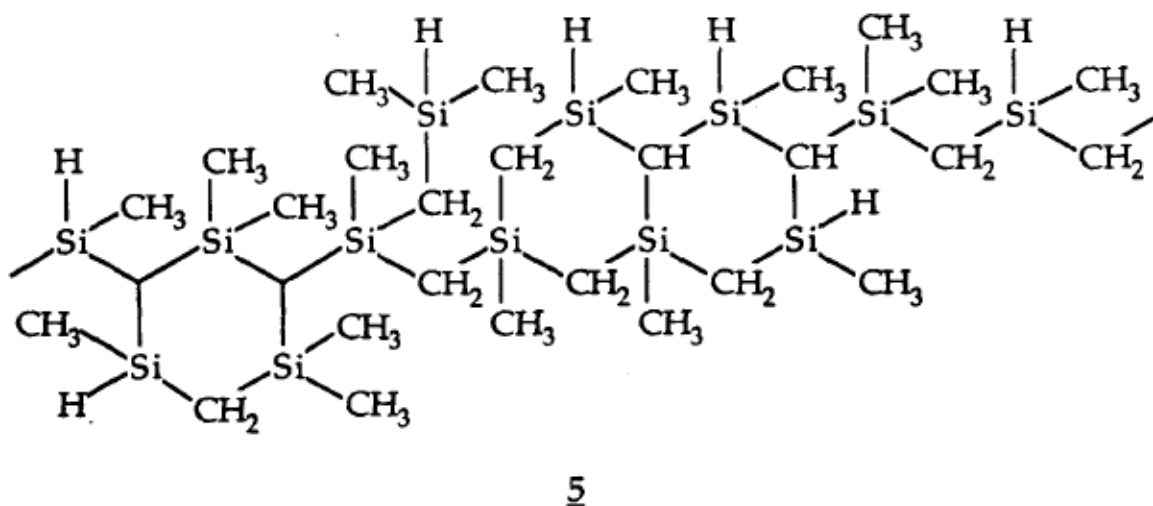
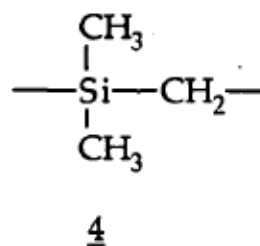
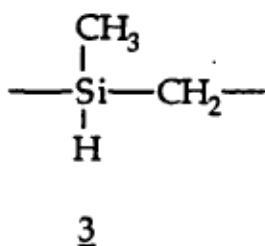
- Полимер кој што може да се пиролизира во саканата керамичка композиција
- Полимер со голема чистота
- Високоразгранет полимер
- Полимер кој покажува реолошка и термичка стабилност во растоп (или раствор) и кој може да се извлече во високо-квалитетни влакна
- Полимер кој е способен лесно да се вмрежува во нетопливо влакно по извлекувањето
- Полимер кој е стабилен во воздух и на влага
- Евтин полимер

Пионерската работа за полимерните прекурсори за силициум карбидните влакна беше иницирана во 1970-тите години. Стартен материјал во овој процес е диметилдихлорсилан кој е лесно достапен.



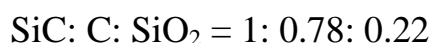
Диметилдихлорсилан

Неговата редукциона дехлоринација со натриум резултира во формирање на полидиметилсилан (или полидиметилсилилен) $[(\text{CH}_3)_2\text{Si}]_n$ кој претставува бел прав, тежок за манипулација. Кога овој материјал се загрева на 450°C во автоклав за време од 14 h се конвертира во поликарбосилан кај кој оригиналната **Si – Si** 'рбетна верига се променува во **Si – CH₂**. Овие карбосилани, кога ќе се изолираат, по отстранувањето на испарливите материји, се стаклести, смолести материјали кои се топливи и растворливи во органски растворувачи. Преку NMR (нуклеарна магнетна резонанса) спектроскопија е покажано дека содржат **(CH₃)₂Si** и **CH₃(H)Si** групи поврзани меѓу себе со **CH₂** и **CH** мостови. Главните градбени елементи кај овие поликарбосилани се 3 и 4 додека „структурата“ на овие полимери, во идеална форма е прикажана со 5.



Слика 35.3 Градбени елементи на поликарбосилани (3,4) и структура на полимерот (5)

Тие содржат и линеарни и циклични компоненти, а исто така се наноуниформно вмрежени. Тоа не се високо-молекуларни материјали ($M_w = 1250 - 1750$). Овие полимери на температура од $250 - 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ можат да се извлекуваат од растоп и да формираат т.н. „зелени“ полимерни влакна. Пиролизата на овие влакна во керамички влакна бара уште една процесна фаза: тие треба да се направат нетопливи така да формата на влакната се задржи кога ќе бидат пиролизирани. Тоа се постигнува со нивно вмрежување меѓу $110 - 190\text{ }^{\circ}\text{C}$. Последователната пиролиза во инертна атмосфера при $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ дава керамички влакна со $10 - 20\text{ }\mu\text{m}$ дијаметар. Овие влакна имаат номинална моларна композиција:



Комерцијално, вакви влакна произведува Nippon Carbon Company и се продаваат под трговската ознака Nicalon.

Тие имаат одлични особини до $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$: јакост на затегање од $2500 - 3200\text{ MPa}$, Јангов модул од $180 - 200\text{ GPa}$, отпорност на кисела и базна корозија, како и оксидативна отпорност. Над $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ влакната ја губат механичката јакост.

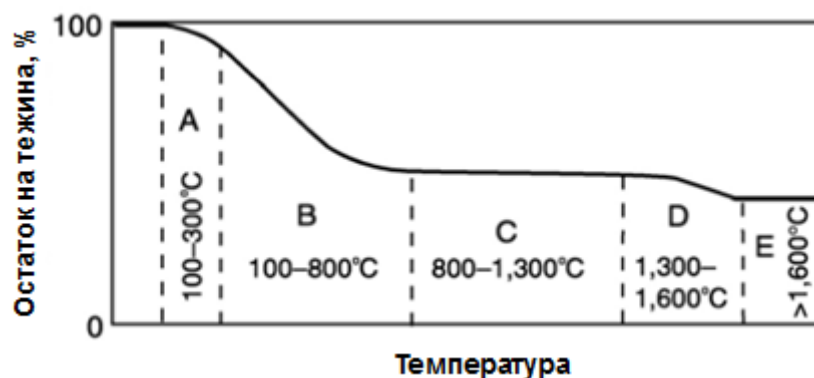
35.3.2. Развој на микроструктурата

Во текот на **вмрежувањето** полимерот се конвертира во високо-вмрежен, нетоплив гел (со неограничена молекулска тежина). Вмрежувањето може да се изврши со хемиски, термички или радијациони методи. Постапката на вмрежување може да ја модифицира композицијата на полимерот а со тоа и на керамичкиот продукт при внесувањето на хемиските вмрежувачи.

Во фазата на пиролиза настанува загуба на испарливите полимерни компоненти проследено со термичка деградација и дополнително вмрежување при што се продуцира неорганска, керамичка композиција. Овој процес вклучува симултано губење на голем волумен од гасот и двојно или поголемо волуменско собирање, главно, заради зголемување на густината од полимерна фаза ($\rho \sim 1\text{ g/cm}^3$) во керамичка фаза ($\rho \geq 2\text{ g/cm}^3$). Загубата на голем волумен на пиролизирачките гасови и симултаната денсификација на цврстата фаза предизвикуваат настанување на нанометарски канали за издвојување на гасот во регионот В, слика 35.4. Во регионот С, вискозниот тек на предоминантно стаклестиот керамички продукт води до колапс на нано каналите, со што се затвораат нано порите. Дополнителното греење над температурата на пиролиза, дури и да нема издвојување на гасови или кристализација, предизвикува собирање на влакното заради смалувањето на волуменот на порите.

Регион А ($\sim 100\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$): губење на испарливите олигомери (олигомер е полимер што се состои од повеќе мономери).

Регион В ($\sim 300\text{--}800\text{ }^{\circ}\text{C}$): загуба на продуктите од пиролиза.



Слика 35.4. Шематски приказ на пиролизата.

Регион C (~800-1200 °C): понатамошна загуба на водород и метан.

Регион D (~1300-1600 °C): загуба на јаглерод монооксид, малку силициум монооксид и азот (доколку е присутен), заради термичка деградација; губење на јакоста.

Регион E (~1600 °C): мало или никакво губење на тежината.

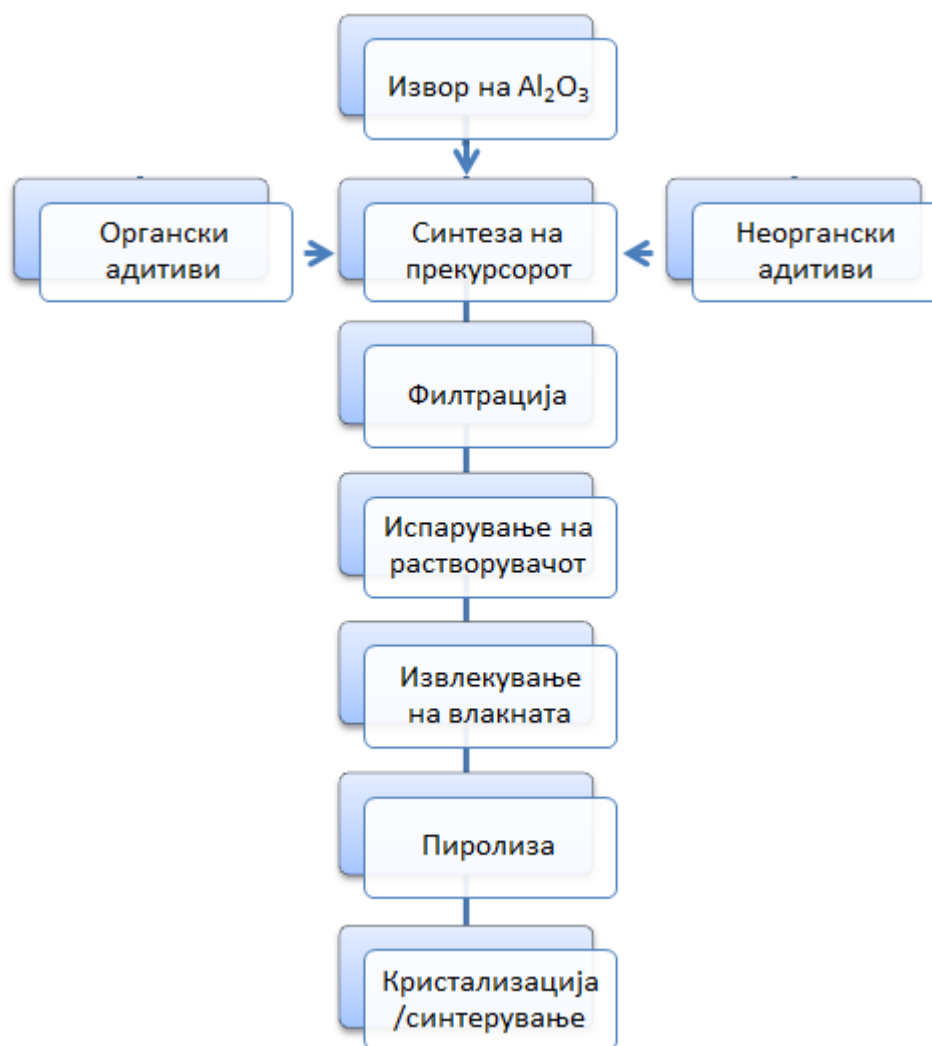
Генерално, пиролизата се случува во инертна атмосфера, како што е аргон или азот, на максимална температура од 1100 до 1400 °C. Иницијалната керамика продуцирана во текот на пиролизата (регион C) има тенденција да биде примарно, ако не и комплетно, метастабилна, аморфна структура.

35.4. ПРОИЗВОДСТВО НА ОКСИДНИ ВЛАКНА

Најмногу развиени и најдостапни оксидни влакна се оние врз база на алуминиум оксид Al_2O_3 или чисти или во комбинација со други оксиди. Овие влакна се од интерес за високо-температурни апликации во оксидативна средина. Од 1970 година па наваму произведени се неколку типови на оксидни влакна. За производство на оксидни влакна со висока содржина на алуминиум постојат две постапки: *извлекување од суспензија* и *сол-гел процес*.

Извлекување од суспензија

На сликата 35.5 е дадена постапката за хемиско добивање на оксидни влакна. Сите комерцијално достапни оксидни влакна се врз база на алуминиум оксид (глиница). Како што се гледа од блок дијаграмот, Al_2O_3 прекурсорот се меша со неоргански (на пример SiO_2) и органски адитиви за да се модифицира хемизмот на прекурсорот и да се овозможи добивање на вискозна течност погодна за



Слика 35.5. Блок дијаграм на хемиско производство на керамички оксидни влакна

извлекување. Прекурсорот на влакната, типично, се синтетизира како разреден раствор за да може да се филтрира и да се ослободи од контаминацијата со честички. По филтрацијата, растворот на прекурсорот се концентрира во вакуум за да се отстрани вишокот на растворувач и да се формира вискозна маса од која ќе се извлечат влакна. Повеќето оксидни влакна се извлекуваат (екструдираат) во континуирани влакна користејќи ја постапката на суво извлекување; масата содржи растворувач, обично вода, која испарува во текот на извлекувањето со што се продуцираат крути влакна. „Зелените“ т.е. **термички нетретираните влакна** потоа се пиролизираат при температура 300 °C – 500 °C за да се отстранат испарливите материји од прекурсорот и да се добијат керамички влакна. Термичкиот третман над 800 °C резултира со кристализација на влакната во Al₂O₃ (алумина) или во други керамички соединенија во зависност од составот на прекурсорот. Синтерување (денсификација) може да се изврши пред или по кристализацијата.

Очигледна предност на оксидните влакна, од аспект на добивањето, е што постојат неколку Al_2O_3 прекурсори погодни за добивање на влакна. Водените раствори на алуминиумот овозможуваат создавање на вискозни базични раствори на алуминиумови соли кои можат да се процесираат во влакна со суво извлекување.

35.5. ОСОБИНИ

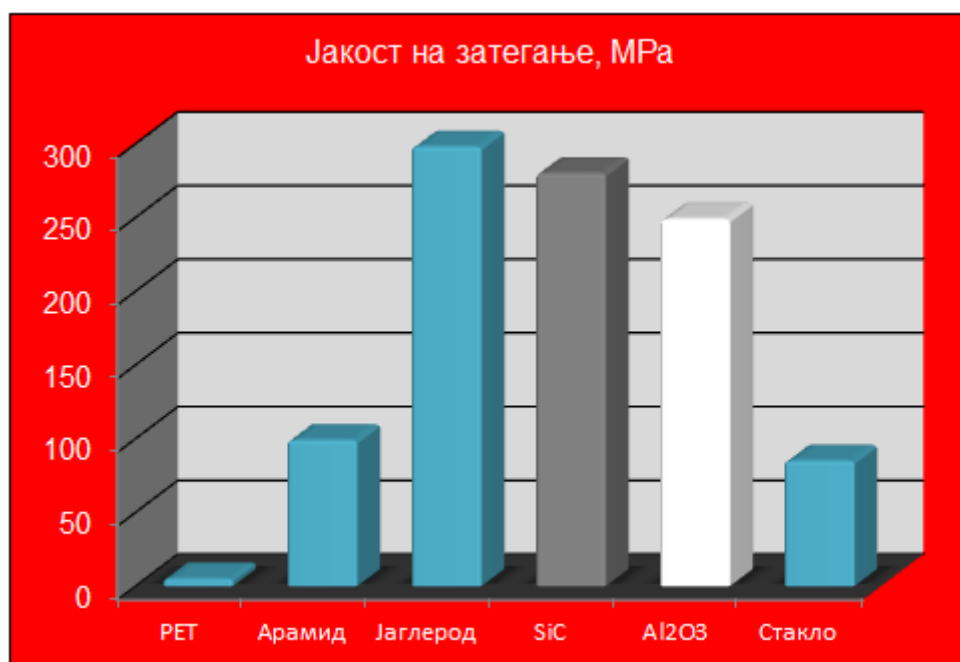
Покрај високата температурна отпорност, влакната покажуваат мало издолжување и собирање на работните температури што овозможува изработка на димензионо-стабилни продукти. Исто така, поседуваат добра хемиска отпорност, мала термичка спроводливост, добра отпорност на термички шок, мала порозност, уникатни електрични особини и добра абразивна отпорност

◆ Механички

На сликите 35.6 и 35.7 даден е преглед на механичките карактеристики на керамичките влакна споредени со други високоперформансни влакна. Дадени се просечните вредности затоа што, и кај овие влакна, особините зависат од процесните параметри

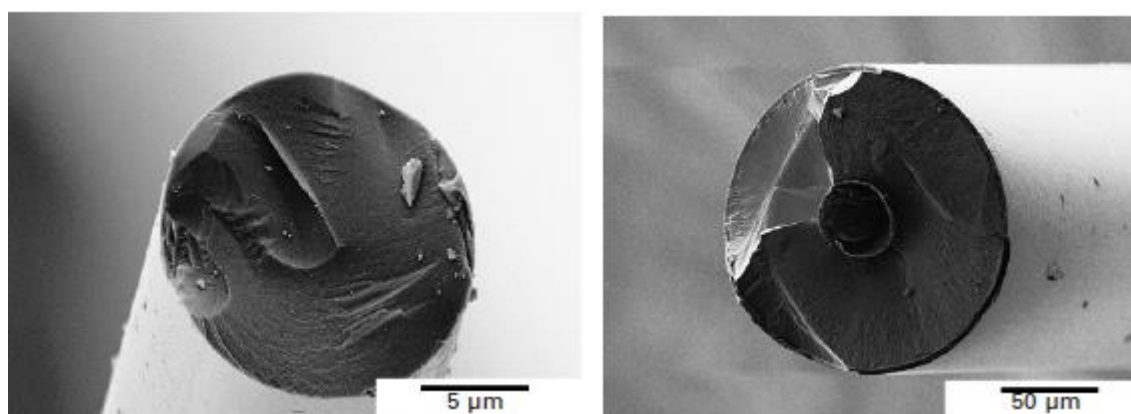


Слика 35.6. Типични вредности (просечни) на јакоста на затегање на керамичките влакна во споредба со други



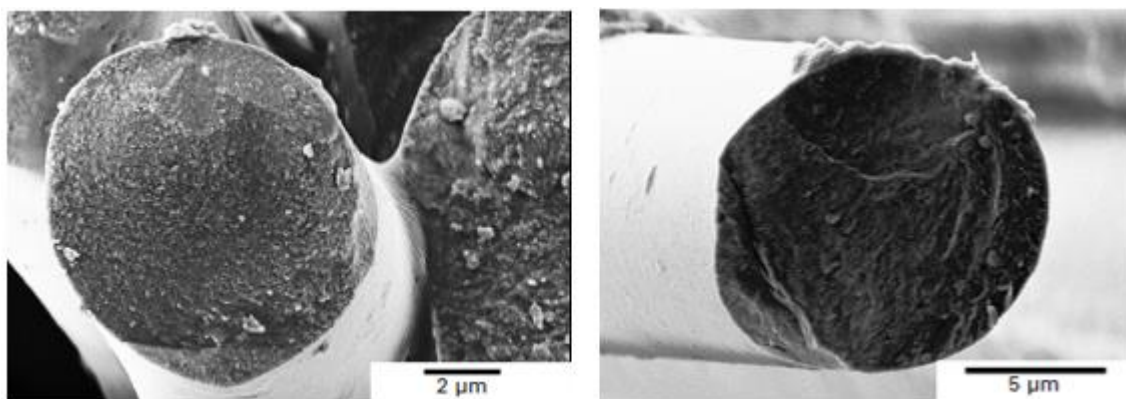
Слика 35.7. Типични вредности (просечни) на модулот на затегање на керамичките влакна во споредба со други

На сликата 35.8 прикажана е површината на прекилот на комерцијални неоксидни влакна. Стаклестата површина на прекилот е типична за аморфни влакна. Површината на прекилот на оксидните влакна, за разлика, е грануларна, слика 35.9

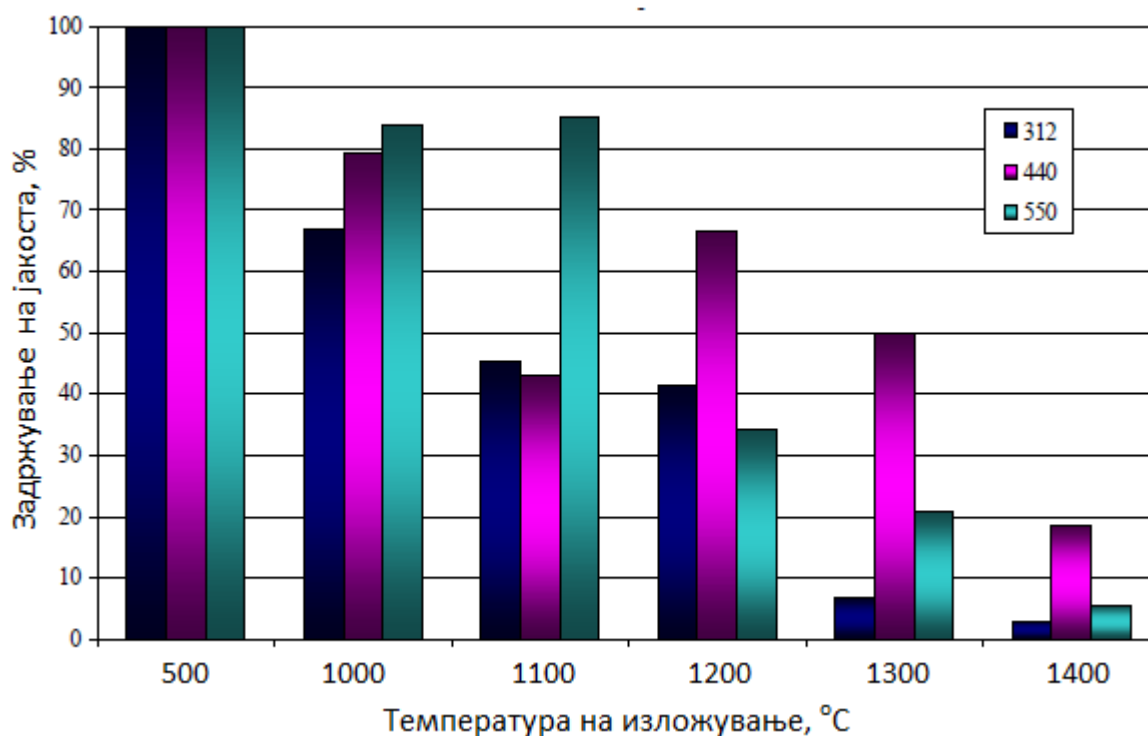


Слика 35.8. Микрографска снимка на површината на прекилот на неоксидни керамички влакна

На сликата 35.10. претставен е степенот (во %) на задржување на јакост на Nextel индустриски ровинзи, тип 312, 440, 550 производ на фирмата 3М, по изложување од 100 саати на различни температури. Испитувањето на кинење е извршено при собна температура. Како што може да се види при изложување на влакната на 500 °C нема воопшто губење на јакоста.



Слика 35.9. Микрографска снимка на површината на прекиот на оксидни керамички влакна



Слика 35.10. Задржување на јакоста на Nextel индустриски ровинзи по изложување од 100 саати на различни температури

◆ Загуба на маса

За да се определи загубата на маса примероците од комерцијални типови на ровинг се изложени 15 саати на температура од 1200 °C. Масата е мерена пред и по термичкиот третман. Како што може да се види од табелата 35.1 единствено забележлива промена доаѓа кај влакното тип 312 што се должи на ослободувањето на B_2O_3 .

Табела 35.1. Загуба на маса по третман на 1200 °C во времетраење од 15 саати

Тип на влакно*	Загуба на маса, %
Nextel 312	2.5
Nextel 440	0
Nextel 550	0
Nextel 610	0
Nextel 720	0

* Сите се оксидни влакна

◆ Собирање

Собирањето на овие влакна зависи од составот на влакното и генерално е многу мало. Во табелата 35.2 дадени се вредностите за собирање на некои комерцијални оксидни влакна при различни температури. Од табелата може да се заклучи дека керамичките влакна се извонредно димензионо стабилни и при многу високи температури.

Табела 35.2. Собирање на оксидни керамички влакна

Тип на влакно*	Собирање, %				
	900 °C	1000 °C	1100 °C	1200 °C	1300 °C
Nextel 312	0,6	0,7	1,0	1,2	2,8
Nextel 440	0	0	0	0	0,1
Nextel 550	0	0	0	1,1	1,3
Nextel 610	0	0,3	0,4	0,9	0,9
Nextel 720	0	0	0	0,4	0,5

* Сите се оксидни влакна

◆ Апсорпција на влага

Заради нивната мазна и непорозна површина керамичките влакна апсорбираат многу малку влага. Горните комерцијални влакна изложени неколку саати во атмосфера со 100 % релативна влажност апсорбираат само 0,08 % влага.

ГЛАВА IV.

ФАКТОРИ ШТО ВЛИЈААТ ВРЗ РЕЗУЛТАТИТЕ ОД ТЕСТОТ

Во лекцијата §9 веќе зборувавме за некои фактори кои влијаат врз резултатите од тестот. Исто така, во претходната глава, при дискусиите за поединечните влакна, на повеќе наврати е споменувано влијанието на температурата, влагата, светлината итн. врз јакоста и модулот т.е. кривата напрегање-деформација. Во оваа глава ќе го разгледаме, од поширок аспект, ефектот на влијателните фактори врз резултатите од тестот.

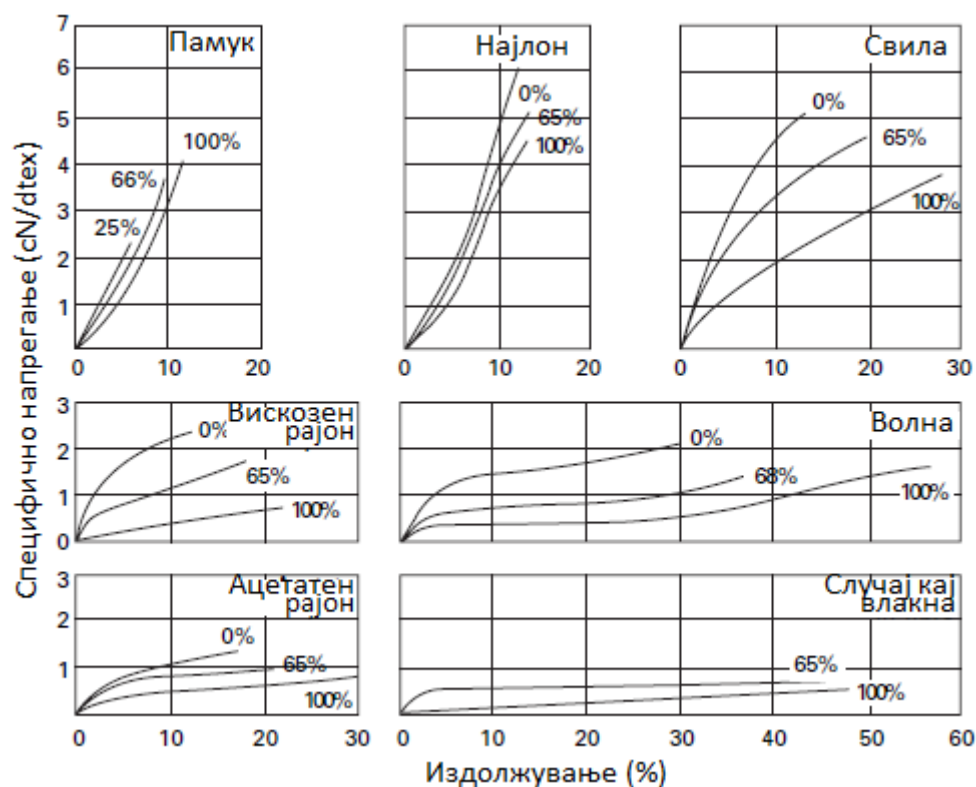
§36. ВАРИЈАБИЛНОСТ И ВРЕМЕНСКА ЗАВИСНОСТ

Кога се проучуваат затезните особини, особено кај природните влакна, треба се има во предвид варијабилноста. Ефектот на слаба врска (*weak link*; аналогно на слаба алка во синџир) значи дека јакоста може да биде многу помала отколку што се очекува.

Брзината на растегнување е друг фактор кој влијае на затезните особини. Генерално, порастот на брзината на затегање при тестирањето води кон помала растегливост и поголема јакост и се разбира до намалено време за прекин. Доколку сакаме да споредиме некои резултати од затегање треба да знаеме со колкава брзина е вршена деформацијата на влакната. Затоа, при презентирањето на резултатите од затегање, потребно е да се даде овој параметар, како би имало споредливост и правилна интерпретација на резултатите.

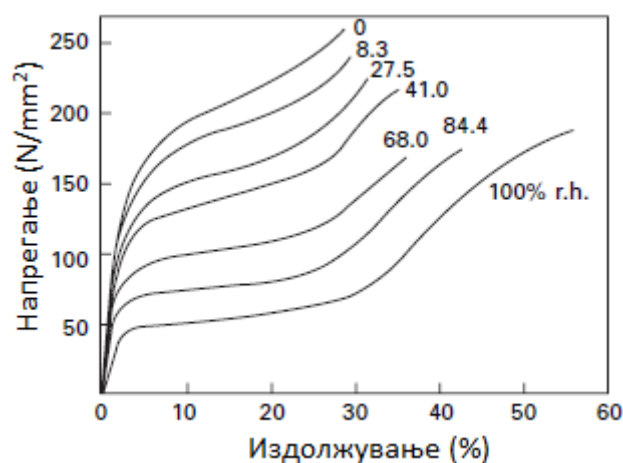
§37. ВЛИЈАНИЕ НА ВЛАГАТА

Сликата 37.1 ги покажува кривите напрегање – деформација, за повеќе типови природни и синтетички влакна, при различна релативна влажност. Сите влакна стануваат порастегливи при зголемена влажност, модулот им се намалува, а прекидното издолжување се зголемува, но, додека памукот и другите влакна од природна целулоза стануваат појаки, останатите стануваат послаби. Особините на синтетичките влакна кои не апсорбираат или апсорбираа малку влага не се очекува да покажат значителна промена.



Слика 37.1. Криви напрегање – деформација при различна влажност

На сликата 37.2 прикажан е ефектот на релативната влажност врз кривите напрегање деформација кај волнените влакна. Треба да се напомене дека главен ефект е порастот на точката на попуштање. Вакво однесување, исто така, е забележано и кај други влакна.

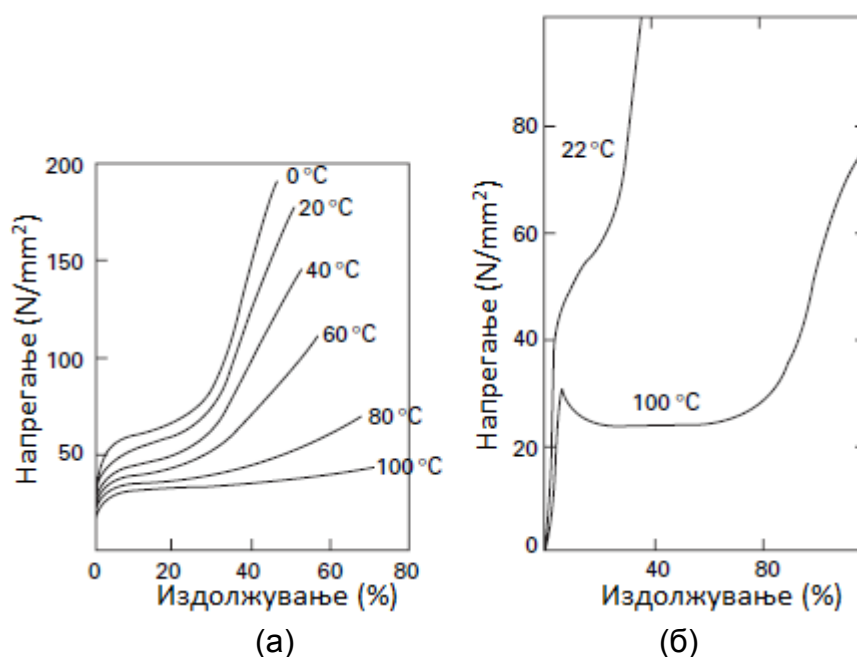


Слика 37.2. Ефект на релативната влажност кај волната при собна температура

§38. ВЛИЈАНИЕ НА ТЕМПЕРАТУРАТА

Механичките особини на влакната се менуваат и во зависност од температурата. Жилавоста и крутоста се пониски на повисока температура но прекидното издолжување е обично повисоко. Продолжено изложување на повисоки температури може да доведе до перманентна деградација на влакната.

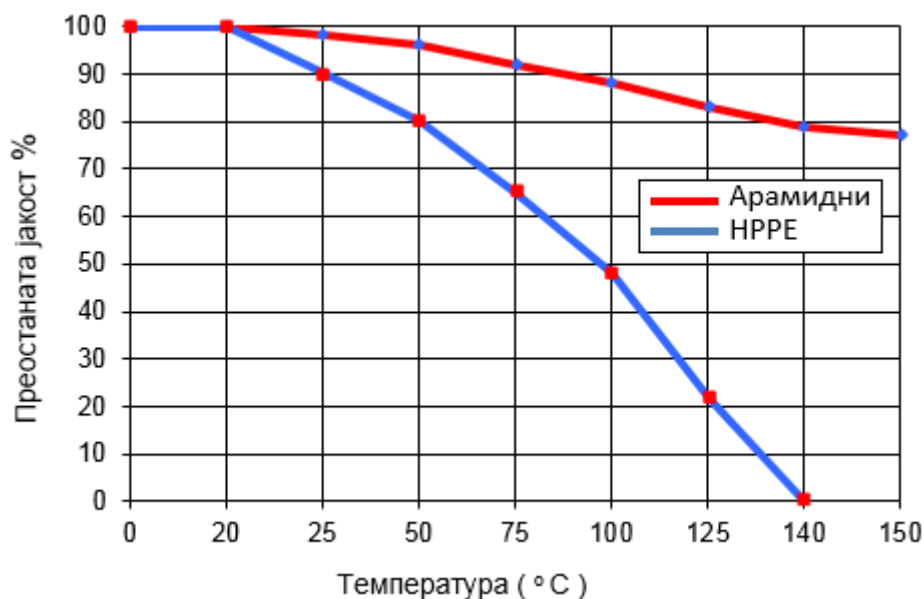
Влијанието на температурата врз особините на напрегање – деформација кај влакната е показано на сликата 38.1.



Слика 38.1. Влијание на температурата врз напрегање – деформација кривите кај влакна (а); криви напрегање - деформација на 22 °C и 100 °C (б)

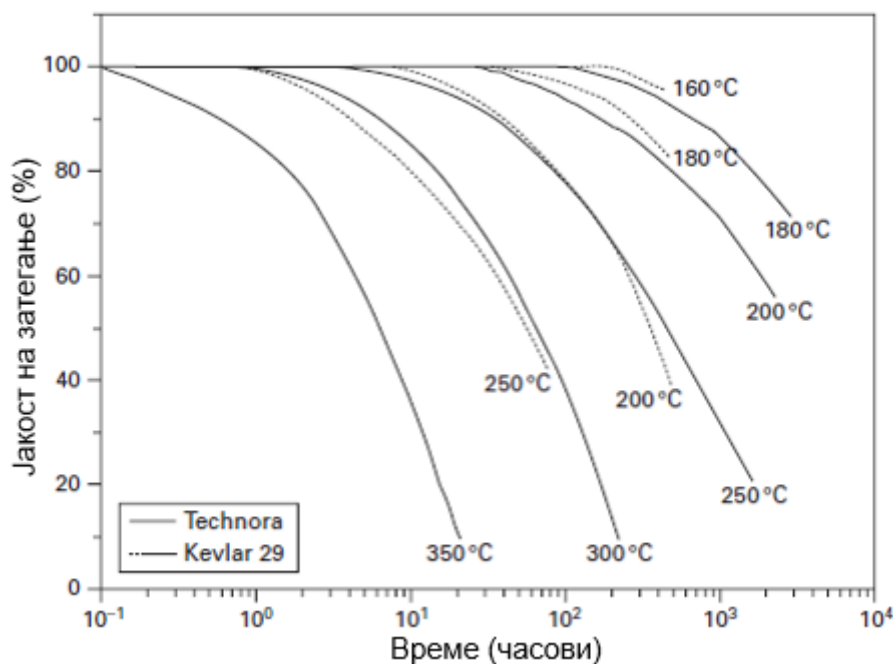
Постои голема разлика во влијанието на повишената температура врз арамидните и полиетиленските влакна. Иако овие високоперформансни влакна имаат слични балистички карактеристики (двата типа на влакна се користат за балистичка заштита), во однос на температурното влијание меѓу нив постои драстична разлика. На сликата 38.2 прикажана е јакоста на овие влакна во зависност од температурата. Додека полиетиленските влакна (*Dyneema*) почнуваат да се топат на релативно ниска температура, 136 °C, арамидните влакна (*Kevlar*) воопшто не се топат. Тие на ~ 450 °C се јагленосуваат, односно се разградуваат без да се стопат. Заради оваа особина арамидните влакна можат, без проблем, краткотрајно да се користат на работни температури од 400 °C.

Иако жилавоста и модулот кај HPPE влакната опаѓаат со зголемување на температурата, тие се зголемуваат на температури под нулата. Во однос на балистичките перформанси, генерално, повишената температура има негативно



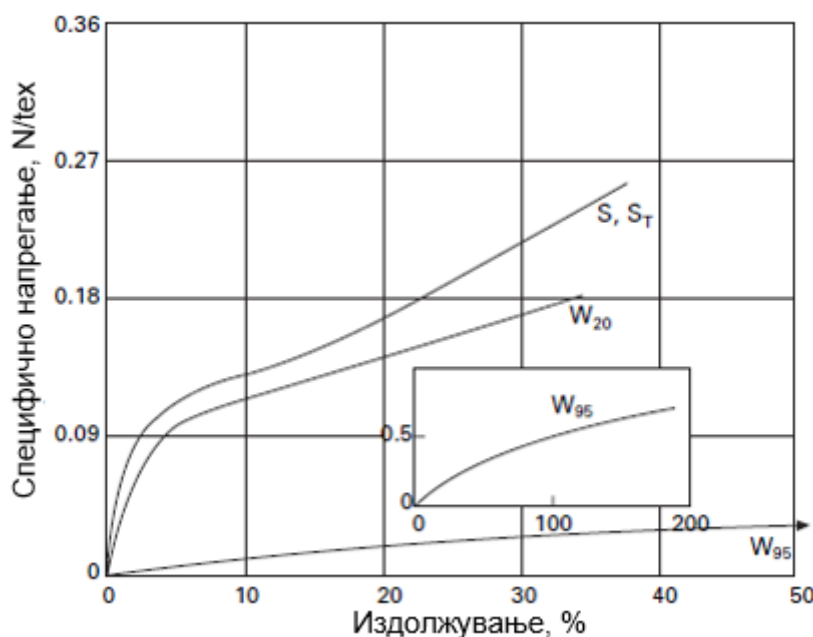
Слика 38.2. Влијание на температурата врз јакоста на арамидните и HPPE влакна

влијание кај двата типа, а тоа е посебно изразено кај полиетиленските влакна. На сликата 38.3 презентирано е влијанието на повишената температура врз јакоста на *Kevlar 29* и *Technora* арамидните влакна во температурен опсег од 160 °C до 350 °C. Со порастот на температурата, како што може да се очекува, кинетиката на процесот на деградација се забрзува. На пример, по третманот од 48 часа во сув воздух *Kevlar 29* влакната загубија



Слика 38.3. Задржување на јакоста на *Kevlar* и *Technora* на повишена температура

скоро 16 % од својата почетна јакост при 180 °С, 50 % при 400 °С и 100 % при 455 °С. Заради тоа, максималната перманентна функционална (работна) температура на пара-арамидните влакна е ограничена во температурен опсег 150 – 170 °С.



Слика 38.4. Криви напрегање-деформација за акрилни влакна

На сликата 38.4 ознаките значат:

S – 65% релативна влажност, 20 °С, како што е добиено од испорачателот

S_T - 65% релативна влажност, 20 °С, по третман во вода на 95 °С

W₂₀ – во вода при 20 °С, како што е добиено од испорачателот

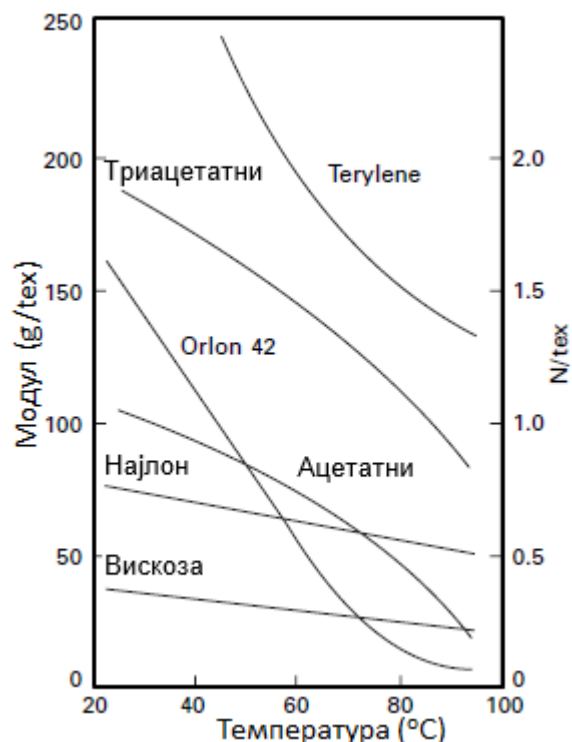
W₉₅ – во вода при 95 °С, како што е добиено од испорачателот

Кај кривите напрегање – деформација на акрилните влакна, при различни температури, е показано, дека отпорноста на растегање при ≥ 100 °С е многу мала, како што е илустрирано и на сликата 38.4.

Резултатите од мерењата на почетниот модул во влажна состојба на температури меѓу 20 и 100 °С кај различни влакна се прикажани на слика 38.5.

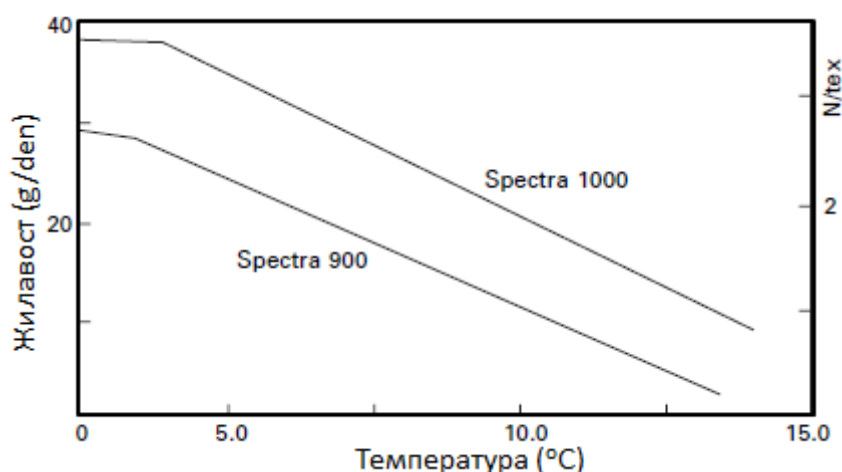
Присуството на вода го смалува модулот на вискозниот рајон до најниско ниво, и температурата понатаму нема некаков ефект; кај најлонот исто така е забележан извесен ефект. Полиестерските, триацетатните и акрилните влакна, сите покажуваат забележителен пад на модулот со порастот на температурата. Ова има свои технички консеквенции при боењето и другите влажни процеси на кои се подвргнуваат овие влакна.

Керамичките и јаглородните влакна добро ја задржуваат својата јакост на висока температура но стаклените ја губат јакоста особено при пролонгирано оптоварување со приближувањето до температурата на омекнување.



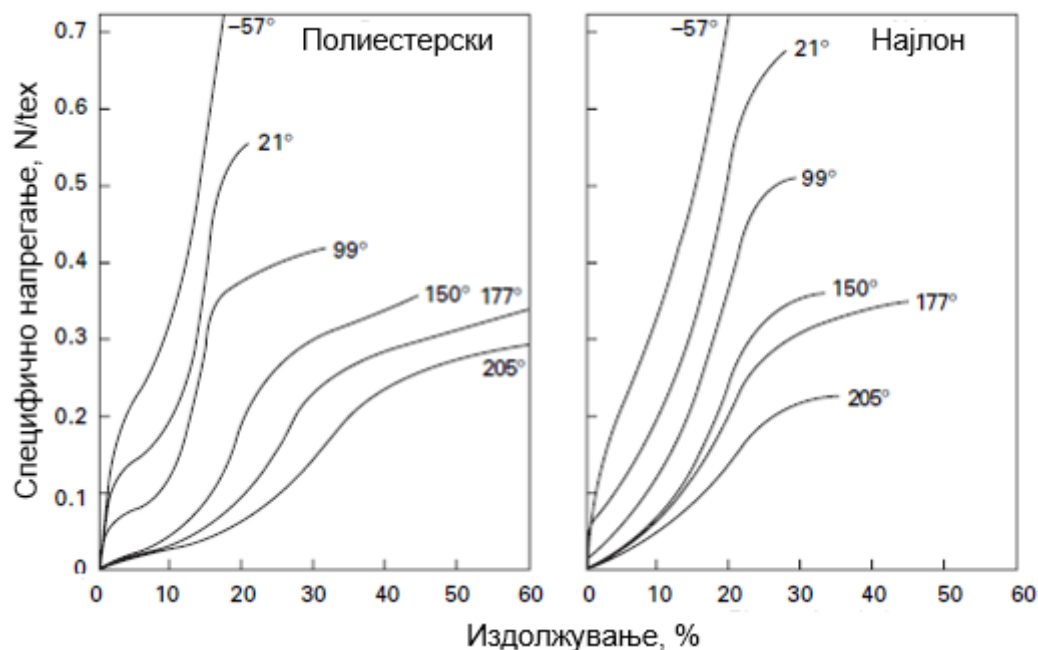
Слика 38.5. Промена на почетниот модул кај влажни влакна во зависност од температурата (Terylene е полиестер, Orlon е акрил)

Полиетиленските влакна со ултра висока молекулска маса (HPPE) претрпуваат значајно губење на јакоста кога температурата ќе се покачи над 50 °C, како што е прикажано на сликата 38.6. Поновите генерации на HPPE влакна имаат подобра отпорност на ползење што како за последица има помало губење на јакоста во зависност од температурата.



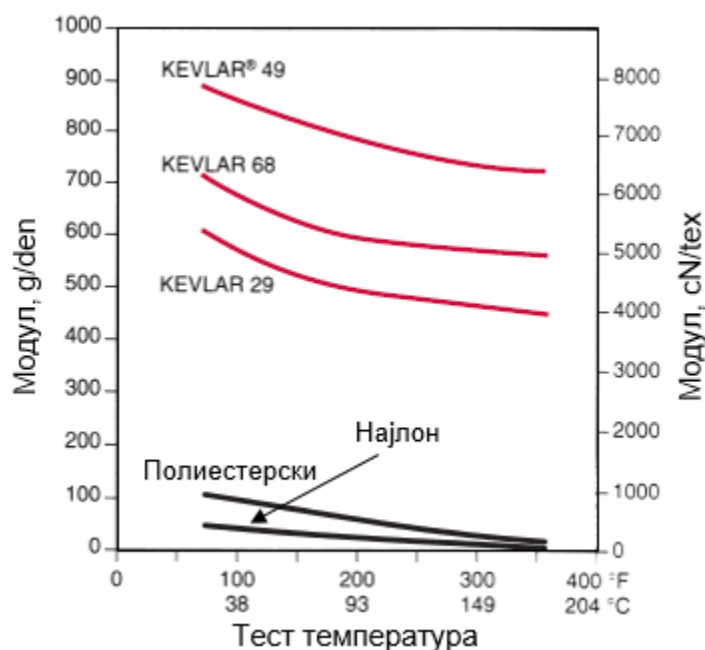
Слика 38.6. Влијание на температурата врз јакоста на HPPE влакна (Spectra 900 и Spectra 1000)

На сликата 38.7 прикажани се кривите напрегање-издолжување за најлон и



Слика 38.7. Компаративни напрегање-издолжување криви за полиестерски и најлон влакна

полиестерски влакна во широк температурен опсег, од -57°C до 205°C , испитувани при еднакви услови во воздушна средина. Забележливо е дека двете влакна покажуваат подобри механички карактеристики при негативни температури.



Слика 38.8. Влијание на повишената температурата врз модулот на некои органски влакна

На сликата 38.8 е прикажано влијанието на повишената температура врз модулот на некои органски влакна. Испитувањето е извршено после пет минути изложеност на повишена температура.

§39. ВЛИЈАНИЕ НА СВЕТЛИНАТА

Ако се изложат на светлина, ултравиолетова или инфрацрвена радијација текстилните влакна можат да претрпат оштетување и да покажат намалена јакост и прекидно издолжување. Степенот на оштетеност зависи од типот на влакното; од финоста на влакното и степенот до кој влакното е заштитено од другите соседни влакна; од тоа дали врз влакното има боја, финиш или некаков друг агенс; и од типот и интензитетот на радијацијата. Влијанието на последниве фактори, од своја страна, зависи од типот на изложеноста на пример дали е сончево и ведро, делумно засенето, зад стакло или дали светлината е вештачка или сончева; а при дневна изложеност и од географската локација и годишното време.

Треба да се напомене дека постојат други фактори кои можат да предизвикаат поголема оштетеност од светлината. Такви фактори се мувлата, габите, индустриските гасови, чадот, превиткувањето, абразијата, песокот носен со ветерот. Иако се вршени многу ад хок тестови не постојат многу фундаментални информации за ова. Во табелата 39.1 претставени се податоци за загуба на јакоста за необоени памучни и најлонски ткаенини кои покажуваат дека, ако се исклучи ултра-виолетовата радијација, оштетувањето значително се смалува.

Табела 39.1. Загуба на јакоста на најлонски и памучни ткаенини

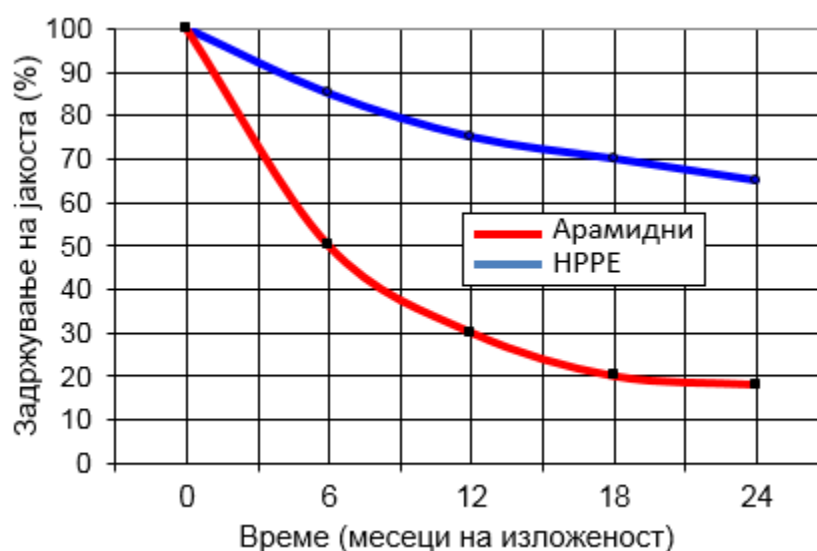
	Преостаната затезна јакост (%)	
	Зад нетретиран филм	Зад УВ апсорбирачки филм
Памук, по 4 месеци во		
- Флорида	64	92
- Аризона	48	85
Најлон, по 2 месеци во		
- Флорида	15	60
- Аризона	13	39

Заштитните способности на ткаенините од ултравиолетова радијација се рангираат според **UPF (Ultraviolet Protection Factor) факторот**. UPF претставува однос помеѓу ефективната ултравиолетова радијација трансмитирана низ воздух и низ ткаенината. Колку е повисока вредноста на UPF толку е подобра заштитата. Во табелата 39.2 е презентираан степенот на УВ заштитната облека по категории.

Табела 39.2. UPF вредност и заштитни категории

	Категорија	Блокирана УВ радијација, %
15 – 24	Добра	93,3 – 95,5
25 – 39	Многу добра	96,0 – 97,4
40 – 50+	Одлична	97,5 – 99+

За облеката која е наменета за заштита од ултравиолетово зрачење производителот е должен да ја декларира вредноста на UPF факторот на етикетата од облеката.



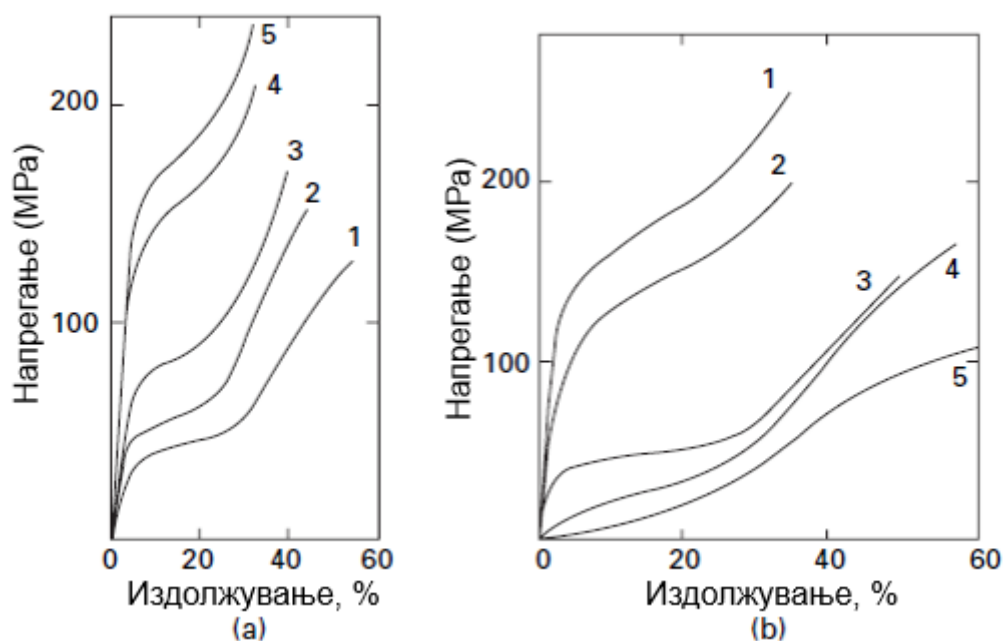
Слика 39.1. Отпорност спрема ултравиолетова светлина кај НРРЕ и арамидните влакна

На сликата 39.1 прикажани се компаративни криви за влијанието на ултравиолетовата светлина врз преостанатата јакост на пара-арамидни и НРРЕ влакна. Од сликата може да се заклучи дека пара-арамидните влакна се поподложни на ултравиолетова деградација од НРРЕ влакна.

За да се случи деградација од ултравиолетово зрачење потребно е да се исполнат два услови: полимерот да го апсорбира ултравиолетовото зрачење и да има доволно енергија за кинење на хемиските врски.

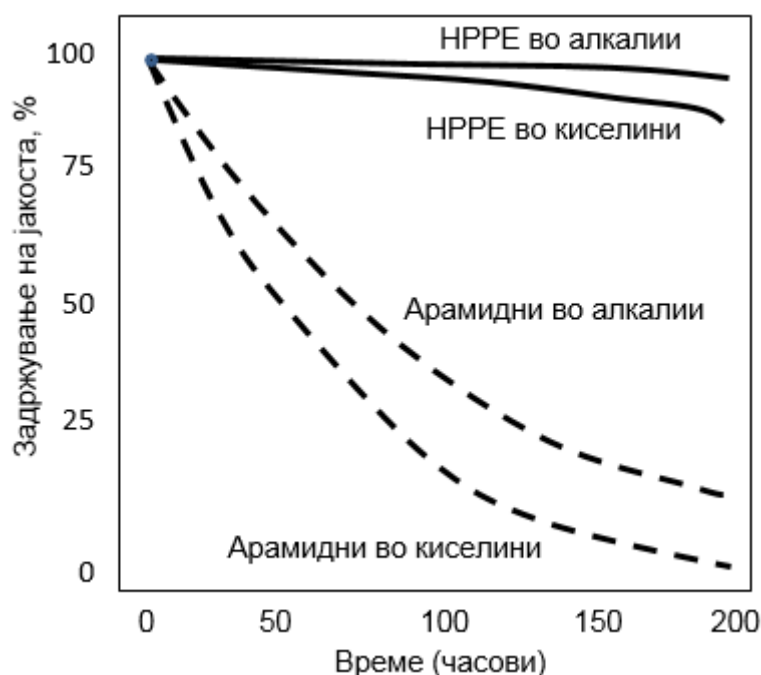
§40. ВЛИЈАНИЕ НА ХЕМИЗМОТ ОД ОКОЛИНАТА

Затезните особини на влакната можат, исто така, да се променат во зависност од хемиската околина. На пример, особините на волната значително се менуваат во алкохол и во кисела средина, како што е илустрирано на сликата 40.1, како и во раствор на соли.

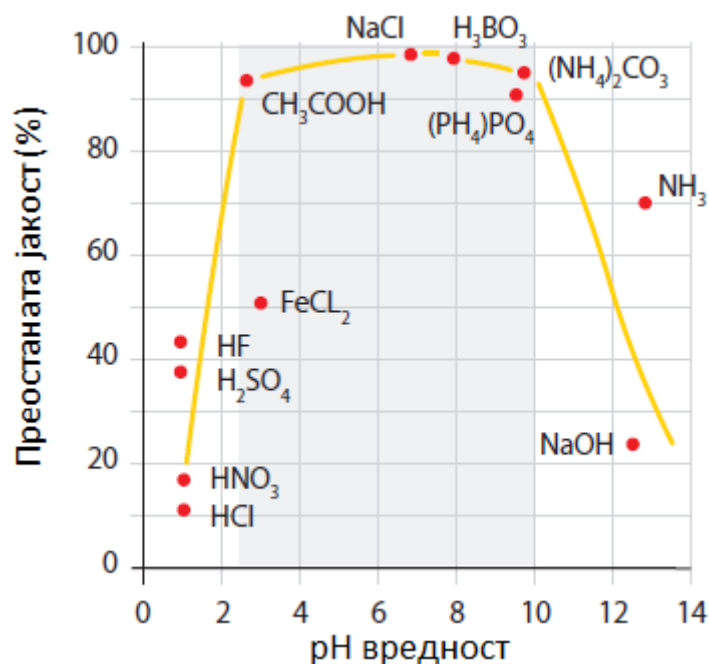


Слика 40.1. Влијание на хемиската околина врз напрегање - деформација кривите на волна: (а) 1 вода и алкохоли, 2 метил, 3 етил, 4 *n*-пропил, 5 *n*-бутил или *n*-амил; (б) 3 вода и киселини, 1 *n* бутерна, 2 пропионска, 4 оцетна, 5 мравска

На сликата 40.2 прикажани се компаративните криви на задржаната јакост во алкална и кисела средина за различно време на изложеност, за арамидни и HPPE влакна, од кои може да се заклучи дека HPPE влакна трпат помала деградација од арамидните.



Слика 40.2. Задржување на јакост под дејство на алкалии и бази за различно време на изложеност



Слика 40.3 Хемиска отпорност на Twaron по изложување од 3 месеци во вода при собна температура

Генерално, високата кристалиничност и јаките меѓумолекуларни интеракции спречуваат хемикалиите да навлезат во полимерот. Отпорноста на Twaron кон органски хемикалии е од добра до одлична, додека отпорноста кон неоргански хемикалии зависи од нивната pH вредност. Високо киселите или високо базните хемикалии можат да предизвикаат хидролитска деградација. На графикот, слика 40.3, е дадено влијанието на некои неоргански хемикалии, во корелација со pH вредноста, врз преостанатата јакост на Twaron влакната.

Во зависност од структурата, други влакна можат да трпат влијание од други хемикалии. Генерално, пожестокиот хемиски третман на влакната води кон перманентни промени на механичките особини.

§41. ЕФЕКТ НА ВАРИЈАБИЛНОСТА

Текстилните влакна не се униформни: нивната композиција и финост варираат од едно до друго влакно во самиот примерок како и по должината на секое влакно. Консеквентно, нивните затезни особини се исто така варијабилни. Варијабилноста е од непосреден интерес за истражувачите бидејќи е исто толку важно да се знае опсегот на вредностите на дадена величина во примерокот што се тестира, како што е важно да се знае средната вредност. На пример, варирањето на особините од едно влакно до друго има влијание врз

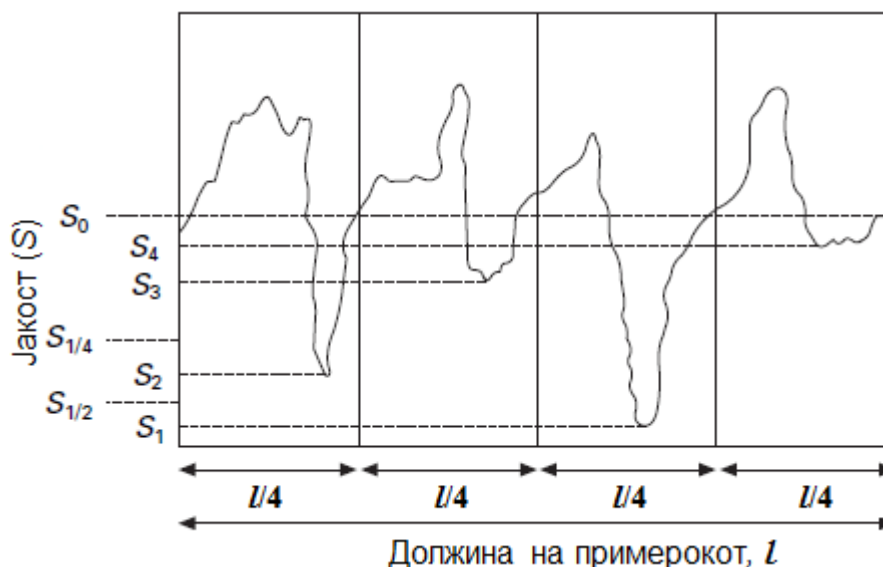
дистрибуцијата на оптоварувањето врз влакната во текстилната творевина, така што материјалот може да биде подрагоцен ако е поуниформен иако можеби има помала средна вредност на затегање.

Варијабилноста, исто така, има важен индиректен ефект врз резултатите од мерењето на механичките особини. Таа може дури и да резултира во промена на редот на величината од примерокот кога ќе се променат условите на тестирање.

Димензиите на влакната, исто така, се менуваат, во текот на тестот. Кога влакното ќе се растегне тоа станува потесно, т.е. му се намалува дијаметарот. Растегнувањето и стеснувањето може да не се униформни по должината од примерокот. Овие промени во текот на тестот не смеат да бидат занемарени при фундаменталните проучувања на особините на влакната.

41.1. ВАРИЈАБИЛНОСТ, ДОЛЖИНА НА ПРИМЕРОКОТ И ЈАКОСТ

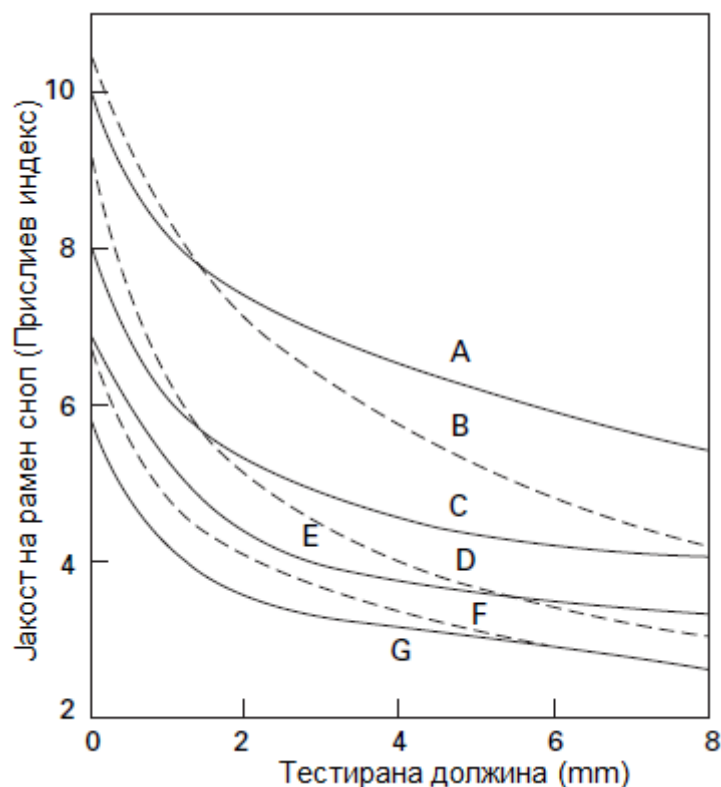
Ефектот на слаба врска (*weak-link effect*) на наједноставен начин може да се објасни на следниов начин. Да претпоставиме дека можеме да одредиме јакост во секоја точка по должината на влакното. Ќе најдеме дека таа варира од точка до точка како што е прикажано на слика 41.1.



Слика 41.1. Ефект на слаба врска

Ако целокупниот примерок се подвргне на постепено растечко оптоварување, ќе се скине во својата најслаба точка чија јакост ја означуваме со S_1 . Но, ако примерокот го поделиме на два еднакви дела, и нив ги тестираме одделно, секој ќе се скине во својата најслаба точка чии вредности ги означуваме со S_1 и S_2 . Логично е дека $S_2 > S_1$. Средната јакост од овие две вредности, мерени на секоја половина должина од примерокот е $S_{1/2}$ и според тоа, јасно е дека е повисока вредност од јакоста мерена на целата должина. На сличен начин ако одиме на

тестирање на секоја четвртина должина од примерокот, ќе добиеме четири вредности, S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , и средната вредност ќе биде уште повисока од вредноста за половина должина, $S_{1/2}$. Ова зголемување на средната вредност ќе продолжи се додека, при многу мали должини, таа се стреми и не ја достигне вредноста S_0 , која дава еднакви површини на кривата над и под линијата $S = S_0$. Површините се еднакви затоа што секој мал елемент ќе се скине во сопствената вредност на јакост.



Слика 41.2. Ефект на должината од примерокот при тест на рамен сноп од памук (буквите означуваат разни типови на памук)

Погоре опишаниот ефект на слаба врска за последица го има следново:

- Средната измерена јакост на примерокот опаѓа со зголемувањето на неговата должина. Типичен пример е покажан на слика 41.2, која прикажува резултати за сноп од различни типови памучни влакна тестирани според т.н. Прислиевиот тест.
- Опаѓањето на измерената средна вредност ќе биде порapidно колку е неуниформноста поголема.
- Редот на величината од тестот може да се промени ако тестираната должина се промени. Како пример за ова во табелата 41.1 дадени се вредности за памучни и најлонски влакна.

Табела 41.1. Жилавост и должина

	Жилавост (N/tex) за тест должина од:		
	1 cm	1 mm	0,1 mm
Памук	0,31	0,43	0,59
Најлон	0,47	0,50	0,54

Сличен ваков ефект како кај влакната, се случува и кај предивата, и токму кај предивата овој ефект е најмногу проучуван.

Ефектот на слаба врска се однесува на варијабилноста во јакоста но тоа има за последица и варијабилност на други величини. За напрегнато влакно, напрегањето ќе варира од место до место и ќе ги следи промените на попречниот пресек. Во секоја точка специфичното напрегање ќе биде дадено со напрегањето поделено со линеарната густина во таа точка.

Како последица на варијацијата на напрегањето исто така и деформацијата ќе варира од место до место. Потенките места ќе се растегнат повеќе од подебелите. Овој ефект исто така се одразува и на модулот како и на прекидното издолжување. Ако влакното, заради присуство на слаба точка, се скине под дејство на мала сила, останатиот дел од примерокот ќе има компаративно мало издолжување и прекидното издолжување ќе биде мало. Средната вредност на издолжување ќе се намалува со зголемувањето на должината на примерокот.

41.2. ПРОМЕНИ КАЈ ПРИМЕРОКОТ ВО ТЕКОТ НА ТЕСТОТ

Кога влакната се растегнуваат, обично им се смалува дијаметарот. Консеквентно на тоа, вистинското напрегање се зголемува порапидно отколку напрегањето базирано на оригиналните димензии од влакното. Ова е важно при фундаменталните истражувања бидејќи она што на прв поглед изгледа дека е основна карактеристика на материјалот може да биде функција од условите на тестот.

Заради варијабилноста, примерокот не се растегнува униформно и понејаките места ќе се растегнат повеќе од појаките. Ова резултира со понатамошно зголемување на напрегањето врз понејаките места, и бидејќи процесот е кумулативен може да дојде до кинење на влакното на тие места.

Јасно е од ова, дека при истражувањето на однесувањето на некој материјал (повеќе од аспект тоа да се сфати отколку да се примени) средната крива напрегање – деформација за целиот примерок дава само груба претстава што всушност се случува. Егзактната релација напрегање – деформација во дадени точки на примерокот би била подрагоцена и егзактна вредност.

Литература

- [1] Hearle, J.W.S, Looms, B, Cooke, W.D, (1998), Atlas of fiber fracture and damage to textiles, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [2] Mirafat, M, (2009), Fatigue failure of textile fibres, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [3] Fanguero, R, (2011), Fibrous composite materials for civil engineering applications, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [4] Ugbole, S.C.O, (2009) Polyolefin fibres-industrial and medical applications, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [5] Das, Subrata, (2010) Performance of home textiles, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [6] Shishoo, R, (2005) Textiles in sport, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [7] Eichorn, S.J, Hearle, J.W.S, Jaffe, M, Kikutani, T (2009) Handbook of textile fibres structure: Volume 2, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [8] Hodginson, J.M, (2000) Mechanical testing of advanced fibre composites, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [9] Nielsen, L, Landel, R, (1994) Mechanical properties of polymers and composites, Marcel Dekker, Inc, New York
- [10] Saville, B.P, (1999) Physical testing of textiles, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [11] Morton, W.E, Hearle, J.W.S, (2008) Physical properties of textile fibres, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [12] Mallick, P.K, (2008) Fiber-reinforced composites, CRC Press-Taylor & Francis Group, Boca Raton
- [13] Dimeski, D, Srebrenkoska, V, (2012) Ispitivanje na tekstilni materijali, Teholosko-tehnicki fakultet, UGD, Stip
- [14] Dimeski, D, (2011) Tekstilni vlakna, Teholosko-tehnicki fakultet, Univerzitet Goce Delcev, Stip
- [15] Dimeski, D (2012) Visokoperformansni vlakna, Teholosko-tehnicki fakultet, UGD, Stip
- [16] Dimeski, D, (2014) Struktura na tekstilni materijali, Teholosko-tehnicki fakultet, UGD, Stip
- [17] Dimeski, D, (2012) Zastitni tekstilni materijali, Teholosko-tehnicki fakultet, UGD, Stip
- [18] Bunsell, A.R, (2009) Handbook of tensile properties of textile and technical fibers, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [19] Fung, Walter, (2002) Coated and laminated textiles, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [20] Franck, Robert, (2005) Bast and other plant fibres, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England

- [21] Hu, Jinlian (2008) Fabric testing, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [22] Eichorn, S.J, Hearle, J.W.S, Jaffe, M, Kikutani, T (2009) Handbook of textile fibres structure: Volume 1, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [23] Barker, A.F, (2009) Handbook of textiles, Abhishek Publication Ghandigarh, New Delhi
- [24] Harrock, A.R, Anand, S.C, (2000) Handbook of technical textiles, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [25] Long, A.C, (2005) Design and manufacture of textile composites, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [26] McIntyre, J.E, (2005) Synthetic fibres: nylon, polyester, acrylic, polyolefin, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [27] Gupta, B.S, (2008) Friction in textile materials, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [28] Alagirusamy, R, Das, A (2010) Technical textile yarns, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [29] Andreali, C, Freti, F (2004) Man-made fibers reference books of textile technologies, Fondazione acimit, Milano, Italy
- [30] Hearle, John, (2001) High-performance fibres, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [31] Hongu, T, Philips, G, Takigami, M (2005) New millennium fibres, Woodhead Publishing Company, Cambridge, England
- [32] Cook, G, (1984) Handbook of textile fibres, Woodhead Publishing Series in Textiles, Cambridge, England
- [33] Schwartz, Peter (2008) Structure and mechanics of textile fibre accembles, Woodhead Publishing Series in Textiles, Cambridge, England
- [34] Delhaes, Peter (2003) Fibers and composites, Taylor and Francis, London and New York
- [35] Morgan, Philips (2005) Carbon fiber and their composites, Taylor and Francis, London and New York
- [36] Shawla, K.Kumar. (2005) Fibrous materials, Press Syndicate of the University of Cambridge
- [37] Fourné, Franz (1998) Synthetic fibers-machines and equipment, manufacture, properties, Hanser Publishers, Munich
- [39] Damyanov, G.B, Stoyanova, G.K, (2013) Textile processes, quality control and design of experiments, Momentum Press, LLC, New York
- [40] Horne, Lena, (2012) New product development in textiles, Woodhead Publishing Series in Textiles, Cambridge, England
- [41] Acar, Memis, (1995) Mechatronic design in textile engineering, Kluwer Academic Publishers
- [42] Johnson, N, Russell, M (2009) Advances in wool technology, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England
- [43] Pastore, C, Kiekens, P (2001) Surface characteristic of fibers and textiles, Marcel Dekker, Inc. New York, Basel

- [44] Dubrovski, Polona Dobnik (2010) Woven fabric engineering, Sclyo, Rijeka, Croatia
- [45] Vigo, T, Turbak, A, (1991) High-tech fibrous materials, American Chemical Society, Washington, USA
- [46] Woodings, Calvin, (2001) Regenerated cellulose fibres, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England
- [47] Hsieh, Y, Gordon, S (2007) Cotton-Science and Technology, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England
- [48] (Committee) (2005) High-Performance Structural Fibers for Advanced Polymer Matrix Composites, National Academies Press
- [49] (Committee) (2005) High-Performance Synthetic Fibers for Composites, National Academies Press
- [50] (Committee) (1998) Ceramic Fibers and Coatings – advanced materials for twenty-first century, National Academies Press
- [51] (Data sheet) Technical Guide Kevlar Aramid Fiber, DuPont